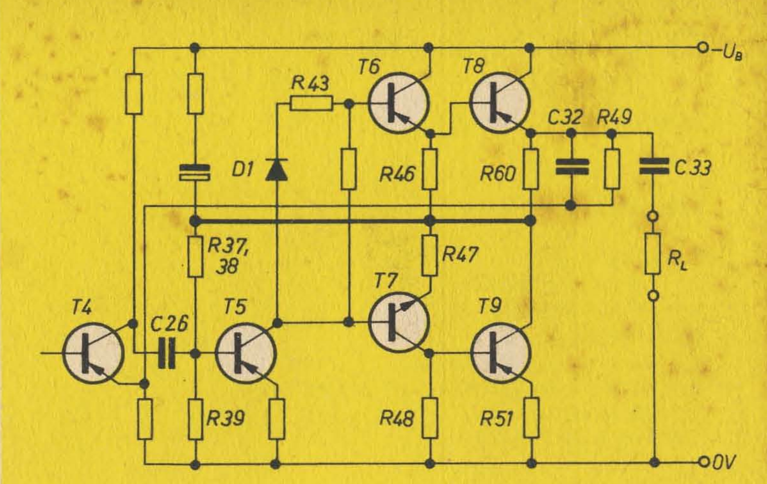
ORIGINAL-BAUPLÄNE

Bauplan Nr. 17
Preis 1,–

Herausgeber:
Klaus Schlenzig



Lothar Knapschinsky

NF-Stereo-Verstärker

Originalbauplan Nr. 17

Herausgeber: Klaus Schlenzig

Inhaltsverzeichnis

Interessentenkreis

Der vorliegende Bauplan erfordert einen über den üblichen Rahmen etwas hinausgehenden Aufwand an Bauelementen und Arbeitszeit. Das liegt in der Natur einer Stereoanlage begründet. Dem absoluten Anfänger sei daher von diesem Objekt vorerst abgeraten. Für jeden dagegen, der bereits einige Praxis mit NF-Verstärkern oder allgemein mit Transistoren hat, stellt dieser Verstärker ein lohnendes Bauobjekt dar. Der Autor beschreibt praktisch seine eigene Anlage, die sich bei ihm im täglichen Einsatz seit langem bewährt hat. Der genügend sachkundige Nachbau bietet daher ein hohes Maß an Sicherheit für das Gelingen.

Der Herausgeber

Elektrische Daten
Endverstärker
Ausgangsleistung: 2 · 10 W
Frequenzbereich: 20 Hz (–1dB) bis 20 kHz (–3dB)
Klirrfaktor: ≦ 1 %
Nennlastwiderstand: 5 Ω
Eingangsspannung für Vollaussteuerung: ≦ 150 mV
Stromaufnahme bei Leerlauf: etwa 50 mA (gleichstromseitig)
bei Vollaussteuerung: etwa 1,5 A (gleichstromseitig)
Steuerverstärker
Eingänge: Rundfunk
Magnetband
Tonabnehmer (Kristallsystem)
Tonabnehmer (magnetisches System)
Frequenzgangkorrektur für magnetischen Tonabnehmer
Regelbereich der Tiefen: + 10 · · · – 15 dB
Regelbereich der Höhen: + 12 · · · – 15 dB

1. Einleitung

Das „Erlebnis Stereofonie" bedeutet nicht einfach einen Werbetext der Schallplattenindustrie. Wer einmal daran teilgenommen hat, der wird von dem Wunsche verfolgt, bald über eine entsprechende eigene Anlage zu verfügen. Vielleicht beginnt er dabei mit dem Stereokopfhörer – sein Verstärkeraufwand ist genügend klein. Bald aber wird das Bedürfnis nach einem vollwertigen Stereogerät wach, mit dem die ganze Familie an diesem Erlebnis teilhaben kann. Dazu ist dann zunächst lediglich ein stereotüchtiger Plattenspieler als Quelle nötig; in absehbarer Zeit werden Neuaufnahmen ohnehin ganz selbstverständlich nur noch in Stereo geprägt. Warum also immer einen wesentlichen Teil der Möglichkeiten dieser Platten ungenutzt lassen, weil man nur einen Monoverstärker betreibt? Später wird der geübte Amateur vielleicht zur NF-Anlage noch einen stereotüchtigen UKW-Eingangsteil mit Stereodekoder bauen (oder anschaffen) und kann damit auch die Stereosendungen des Deutschen Demokratischen Rundfunks hören.
In diesem Bauplan wird ein transistorbestückter Stereo-NF-Verstärker mit einer Ausgangsleistung von 2 · 10 W beschrieben. Eine solche Leistung erscheint auf den ersten Blick sehr hoch, wenn man bedenkt, daß schon 50 mW für die Wiedergabe in ruhigen Räumen ausreichen („Zimmerlautstärke"). Jeder kann das leicht mit einem Taschenempfänger nachprüfen. Falls außerdem noch der Lautsprecher dieses kleinen Radios abgeklemmt und statt dessen ein großes System von vielleicht 12 W Belastbarkeit angeschlossen wird, ergibt sich eine erstaunliche Klangfülle. Weshalb braucht man dann eine Lautsprecherleistung von 10 W? Es gibt viele Gründe dafür.

- Zunächst ist der übertragene Frequenzbereich des kleinen Niederfrequenzverstärkers eines MW-Taschenempfängers zu gering. Er liegt etwa zwischen 250 und 8000 Hz und reicht damit für Sprachübertragungen oder den sehr störanfälligen Mittelwellenempfang aus. Wer jedoch die Qualität des UKW-Rundfunks voll ausnutzen möchte oder eine sehr gute Schallplattenwiedergabe anstrebt, braucht einen weit größeren Übertragungsbereich.
- Die Verzerrungen der Tonfrequenzen in kleinen Geräten sind beachtlich. Handelsübliche (große) Rundfunkgeräte haben bei ihrer Nennausgangsleistung ebenfalls noch Klirrfaktorwerte von 10 %; im normalen Hörbereich sind diese Werte nicht viel kleiner. Mit dem Verstärker dieses Bauplanes erreicht man dagegen bei 10 W Leistung einen Klirrfaktor, der 1 % nicht übersteigt. Selbst wenig geübte Ohren hören den Unterschied.
- Die Verzerrungen sind geringer, wenn ein leistungsfähiger Verstärker bei kleinen Ausgangsleistungen arbeitet, als wenn ein kleines Gerät bis an die Grenze seiner Möglichkeiten beansprucht wird.
- Moderne Lautsprecherkombinationen haben durch ihren Aufbau als Kompaktbox sehr gute Wiedergabeeigenschaften für alle Tonfrequenzen. Sie brauchen aber sehr viel größere Leistungen zur Aussteuerung als Lautsprecher in offenen Gehäusen.

Beim Selbstbau von Geräten spielt meist die Frage der Kosten und der Rentabilität eine gewisse Rolle. Es muß daher betont werden, daß dieser Bauplan kein billiges Gerät vorstellt. Allein die Bauelementekosten liegen bei etwa 2/3 des Preises eines industriemäßig gefertigten, vergleichbaren Gerätes. Dazu kommt für den Bastler der sehr große Zeitaufwand zur Fertigstellung. Die Gesamtkosten werden dadurch sicher höher als beim Kauf einer industriell gefertigten Stereoanlage. Daher liegt bei dem vorgestellten Objekt noch mehr als sonst der eigentliche Sinn des Selbstbauens in der Freude am Erfolg und in der Möglichkeit zu lernen.

Die eingesetzten Bauelemente – hier speziell die Transistoren – werden in einigen Stufen bis an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht. Beim Nachbau muß man deshalb auf jeden Fall klassifizierte Typen verwenden, wenn die guten Eigenschaften des Gerätes erreicht werden sollen. Es ist nicht möglich, aus der Bastelkiste veraltete, nichtklassifizierte Bauelemente herauszusuchen und damit den Verstärker aufzubauen.
Den Nachbau des Geräts erleichtern die genauen Aufbauhinweise (u. a. die Vorlagen für die Leiterplatten) sowie die detaillierten Vorschriften für Verdrahtung und Leitungsführung der nicht auf den Leiterplatten angeordneten Bau- und Bedienelemente.

Die Zahl der Interessenten für die vorgestellte Anlage dürfte sich außerdem dadurch beträchtlich erhöhen, daß man nach diesem Bauplan auch einen Einkanalverstärker (monofone Wiedergabe) herstellen kann, der natürlich nur die Hälfte der Bauelemente benötigt.

2. Schaltungstechnik

2.1. Prinzipschaltung

Der Verstärker ist selbstverständlich ausschließlich mit Transistoren bestückt. Das bietet gegenüber den früher benutzten Röhren für diesen Fall einige entscheidende Vorteile. Große Bedeutung hat der Fortfall des Ausgangsübertragers, der in Röhrenschaltungen zur Anpassung der niedrigen Lautsprecherimpedanz an die hohen Röhrenausgangswiderstände nötig ist. Es gibt zwar auch „eisenlose" Röhrenverstärkerschaltungen, jedoch müssen die dort anzuschließenden Lautsprecher sehr hohe Widerstände – etwa 800 Ω – aufweisen. Der Transistor erlaubt nun wegen seines – hier vorteilhaften – niedrigen Innenwiderstands den direkten Anschluß der üblichen Lautsprecher mit Impedanzen von 4 Ω aufwärts.
Eine eisenlose Verstärkerschaltung hat folgende Vorteile:

a) Ein Ausgangsübertrager entfällt; er ließe sich (für spezielle Schaltungen) nur schwer beschaffen, da er meist nicht handelsüblich ist und das Selbstwickeln wegen der nötigen handwerklichen Fähigkeiten oft nicht zum gewünschten Ergebnis führt.

b) Es ergibt sich eine erhebliche Einsparung an Platz und Masse, da ein Übertrager für hohe Leistungen, der auch die tiefen Tonfrequenzen gut überträgt, immerhin bis zu einigen Kilopond wiegen kann.

c) Die Transformatorverluste (sie betragen bis zu 30 %!) entfallen.

d) Der Klirrfaktor des Verstärkers kann kleingehalten werden, da keine linearen und nichtlinearen Verzerrungen im Übertrager auftreten können.

e) Zur Verbesserung der Übertragungseigenschaften lassen sich starke Gegenkopplungen im Verstärker anbringen. (Bei Verwendung eines Ausgangsübertragers ist das schwer möglich, da er unübersichtliche Phasendrehungen hervorruft, die in ungünstigen Fällen für bestimmte Frequenzen aus der Gegenkopplung eine Mitkopplung werden lassen und den Verstärker zum Schwingen bringen.)

Bild 1 zeigt das Prinzip der Schaltung des Verstärkers. Dargestellt sind die Baugruppen des rechten Kanals in ihrem funktionellen Zusammenhang. Der 2., hier nicht gezeigte Kanal ist mit dem 1. Kanal im elektrischen Aufbau identisch. Wird also keine stereofone Wiedergabe gewünscht, so führt der Aufbau nur eines Kanals zu einer hochwertigen monofonen Anlage. Da einige Bauelemente (Stereo-Mono-Umschalter, Balanceregler) für beide Kanäle gleichzeitig wirken, sind sie nur einmal dargestellt. Sie entfallen beim Aufbau als Einkanalverstärker, weil ihre Funktionen dann sinnlos sind. Zur Kennzeichnung der beiden Kanäle erhalten die Bauelemente für den rechten Kanal eine „100" vor der laufenden Nummer, die des linken Kanals eine „200". Als Beispiel trägt der 12. Widerstand des rechten Kanals die Bezeichnung R 112, der entsprechende des linken Kanals R 212. Bei den beiden Kanälen zugehörenden Bauelementen entfällt diese „Vorzahl". Auch wird sie im Text bei der Funktionsbeschreibung der einzelnen Stufen fortgelassen.
Der Verstärker bietet Anschlußmöglichkeiten für magnetische und Kristalltonabnehmer, Tonbandgeräte sowie Rundfunkempfänger. Dafür sind die fünfpoligen Normbuchsen Bu 1 bis Bu 4 vorgesehen.
Von diesen Buchsen gelangen die Spannungen an den Programmwahlschalter S1. Im Mustergerät wurde aus Platzgründen ein einfacher Drehschalter eingesetzt. Beim Betrieb ist darauf zu achten, daß nichtbenutzte Programme ausgeschaltet sind, da sie sonst durch Übersprechen stören könnten. Von diesem Gesichtspunkt aus wird ein Tastenschalter empfohlen, der es erlaubt, die jeweils nichteingeschalteten Tonquellen kurzzuschließen.
Das am Schalter S1 ausgewählte Programm gelangt direkt an den nächsten Schalter, der folgende Umschaltfunktionen erfüllt: Links – Rechts – Mono – Stereo – Stereo vertauscht. In

der 1. Schaltstellung werden beide Ausgänge der Signalquelle auf den linken Verstärkerkanal gelegt, und es erfolgt monofone Wiedergabe über den linken Lautsprecher. Die nächste Schalterstellung gibt monofone Wiedergabe über den rechten Kanal. Diese Einstellmöglichkeit hat einige Vorteile, wenn keine stereofone Sendung empfangen wird. Der Sänger oder Sprecher erscheint an einem definierten Punkt, dem Standort des Lautsprechers; wenn dasselbe Signal aus 2 Lautsprechern käme, erschiene es diffus, die Stimme ist über die ganze Fläche zwischen den Lautsprechern verteilt und dadurch nicht lokalisierbar. Die nächste Rastung gibt beide Eingänge auf beide Verstärkerkanäle, darauf folgt die normale Stereowiedergabe und als letztes das Vertauschen der Seiten: Links erscheint Rechts und umgekehrt, eine Möglichkeit für spezielle Effekte.

Dieser Schalter kann durch einen einfachen Typ ersetzt werden, der nur die Stellungen Mono und Stereo erlaubt, für Stereo geöffnet ist und bei Mono beide Kanäle direkt verbindet.
Im folgenden Steuerverstärker (SV) wird das Signal auf den für die Aussteuerung des Leistungsverstärkers nötigen Pegel angehoben; außerdem erfolgen die Korrekturen im Frequenzverlauf – die Tiefen- und Höhenanhebung bzw. -absenkung sowie die nötige Frequenzentzerrung der Ausgangsspannung des magnetischen Tonabnehmersystems. Weiter gelangt die Spannung zum (gehörrichtigen) Lautstärkeregler und über das Potentiometer für die Balanceregelung an den Leistungsverstärker. Der Balanceregler dient dazu, bei der Stereowiedergabe den exakten Mitteneindruck herzustellen, d. h., durch Pegelverschiebungen für beide Verstärkerkanäle lassen sich Verstärkungsdifferenzen oder Unterschiede der Spannungen der Signalquellen ausgleichen.

Im eisenlosen Endverstärker (EV) werden die bisher korrigierten Signale so weit verstärkt, daß sie zur Aussteuerung der Lautsprecher ausreichen. Diese sind über Lautsprechernormbuchsen anzuschließen. Zur Speisung aller Verstärkerbaugruppen dient ein spezielles Netzgerät (NG), das eine elektronisch stabilisierte Gleichspannung mit kleinen Brummwerten abgibt.
Der gesamte Verstärker – einschließlich des Netzgerätes – ist bis auf einen Zweig der Treiberstufe mit Germanium-pnp-Transistoren bestückt, die in den genannten oder äquivalenten Typen in den entsprechenden Fachgeschäften erhältlich sind.

2.2. Endstufe

Bild 2 zeigt den Stromlaufplan für den rechten Kanal der Endstufe. Zum besseren Verständnis ist in Bild 3 noch einmal das Prinzip dargestellt: Das vom Steuerverstärker kommende Signal wird im Transistor T4 verstärkt. Von seinem Kollektor über C26 (C126 bzw. C226) abgenommen, gelangt es an die Basis des Treibertransistors T5. Dessen Kollektor ist direkt mit den Basisanschlüssen der beiden Transistoren T6 und T7 verbunden, die die Phasenumkehrstufe bilden. Eine entsprechende Steuerspannung, die den Transistor T6 öffnet, d. h., die ihn zu größeren Strömen hin steuert, sperrt (wegen der entgegengesetzten Polarität) den Transistor T7. Sein Kollektorstrom wird also kleiner. Ändert sich die Phasenlage der steuernden Tonfrequenzspannung, so kehren sich die Verhältnisse um: Der bisher geöffnete Transistor T6 wird gesperrt, und T7 öffnet. Die Phasenumkehr-Transistoren sind für die Gleich-(Speise-) Spannung in Reihe geschaltet (vom Pluspol der Speisespannung gelangt man über R48, Kollektor T7, Emitter T7, R47, R46, Emitter T6, Kollektor T6 an deren Minuspol), wechselstrommäßig liegen sie parallel (dieselbe Steuerspannung wirkt gleichzeitig auf beide Basisanschlüsse).

Der Emitter von T6 ist direkt mit der Basis des einen Endstufentransistors (T8) verbunden. Beide Transistoren bilden einen Darlington-Verstärker, T8 arbeitet dabei in Kollektorschaltung. Der untere Endstufentransistor T9 wird in Emitterschaltung betrieben, und die Ansteuerung erfolgt von dem ebenfalls in Emitterschaltung arbeitenden npn-Transistor T7. Das bedeutet aber, daß sich die Stromänderungen der Transistoren T6 und T7 direkt als Basisstromänderungen der Endstufentransistoren T8 und T9 und damit auch in ihren Kollektorströmen auswirken. Diese Transistoren liegen in Reihe und können als veränderbare Widerstände angesehen werden. Wird z. B. T8 geöffnet, so ist durch die gegenphasige Steuerung T9 gesperrt. Die Spannung am Emitter von T8 liegt im Ruhezustand etwa bei der

halben Betriebsspannung. Sie wandert mit der Aussteuerung in Richtung zum Minuspol. Bei voller Aussteuerung hat sie sich diesem Potential bis auf den Wert der Restspannung von T8 genähert, d. h., der Lautsprecher liegt über dem Koppelkondensator C33 an der ganzen Betriebsspannung. Durch die gegenphasige Halbwelle wird T8 gesperrt und T9 leitend; bei voller Aussteuerung liegt also die Kombination Koppelkondensator – Lautsprecher fast auf Nullpotential, und der vorher aufgeladene Kondensator wirkt als Spannungsquelle für den Lautsprecher. Der Ruhestrom des Systems Endstufentransistoren – Phasenumkehrtransistoren wird durch die Basisvorspannung der beiden Transistoren T6 und T7 festgelegt. Diese Spannung erhält man durch den Spannungsabfall an der in Durchlaßrichtung gepolten Diode D1. Zur genauen Einstellung ist der Stellwiderstand R43 vorgesehen. Für D1 ist eine Siliziumdiode einzusetzen, die – im Gegensatz zum Germaniumgleichrichter – eine ausgeprägte Schwellspannung von etwa 0,7 V aufweist. Diese Spannung bleibt auch bei Stromänderungen genügend konstant. Änderungen der Betriebsspannung dieser Stufe, die durch Schwankungen der Arbeitspunkte mit der Aussteuerung hervorgerufen werden, wirken sich deshalb nur unwesentlich auf den Ruhestrom der Endstufe aus.

Eine thermische Stabilisierung ist durch den parallelliegenden temperaturabhängigen Widerstand R44 (Heißleiter) gewährleistet. Falls dieser mit den anderen Bauelementen auf der Leiterplatte des Endverstärkers angeordnet ist, bewirkt er den Ruhestromausgleich für Schwankungen der Umgebungstemperatur. Besser ist es jedoch, ihn (thermisch gut gekoppelt, aber elektrisch isoliert) am Transistor T8 zu befestigen. Dadurch regelt er Ruhestromänderungen, die durch die aussteuerungsbedingte Erwärmung dieses Endstufentransistors auftreten können, aus.

Die volle Aussteuerfähigkeit der Endstufe setzt voraus, daß die Mittelpunktspannung (stark gezeichnete Linie in Bild 3) konstant bleibt. Das wird dadurch erreicht, daß dieser Punkt der Schaltung mit dem Spannungsteiler des Treibertransistors (R37, R38, R39) verbunden ist. Infolge der gleichstrommäßigen Kopplung der gesamten Endstufe einschließlich der Treiberstufe ruft eine Änderung der Mittelpunktspannung eine Änderung der Basisspannung von T5 hervor. Sein Strom ändert sich so, daß die Schwankung der Mittelpunktspannung ausgeregelt wird.

Phasenumkehrstufe und Endstufe arbeiten im B-Betrieb. Dadurch läßt sich die Schaltung bei kleinen Ruheströmen betreiben. Bei normaler Aussteuerung des Verstärkers werden die Endstufentransistoren thermisch nur wenig belastet. Bei voller Aussteuerung, d. h. bei maximaler abgegebener Leistung (Musik oder Sprache), wird in jedem Endstufentransistor eine Leistung von 3 W in Wärme umgesetzt. Bedingung für stabilen Betrieb, also für geringe Erwärmung des inneren Kristallsystems des Transistors ist daher eine ausreichende Wärmeableitung; die Transistoren müssen auf genügend große Kühlkörper montiert werden.

Der Eingangswiderstand des Endverstärkers ist sehr hoch, er liegt – je nach Stromverstärkung des Transistors T4 – zwischen 100 und 300 kΩ. Das wird durch die besondere Art der Basisspannungserzeugung für T4 erreicht. Bei üblichen Basisspannungsteilerschaltungen liegen diese Widerstände dem Transistoreingang parallel und verringern seinen Eingangswiderstand. In der Schaltung nach Bild 2 dagegen liegt der Spannungsteilerpunkt R29, R31, über dem Kondensator C25 am Emitter des Transistors, und die Basis ist über den Vorwiderstand R30 angeschlossen. Der Basisspannungsteiler erhält damit die gleiche Wechselspannung wie der Emitter, und zur Steuerung muß nur die Basis-Emitterspannung aufgebracht werden. Durch diese Schaltung (sogenannte Bootstrap-Schaltung) ergibt sich ein dynamischer Eingangswiderstand, der etwa gleich dem Produkt aus dem wirksamen Lastwiderstand im Emitter und dem Stromverstärkungsfaktor des Transistors ist.

Geringe Klirrfaktorwerte des Leistungsverstärkers erfordern sowohl für die Endstufentransistoren als auch für die Transistoren der Phasenumkehrstufen gleiche Werte. Da die Endstufentransistoren in jedem Fall vom gleichen Typ sein sollen, müssen sie nur noch paarweise ausgesucht werden. Unter Paarungsbedingung ist hier zu verstehen, daß sich die Stromverstärkungswerte beider Transistoren bei einem Arbeitspunkt von 2 V Kollektor-Emitterspannung und einem Kollektorstrom von 0,5 A höchstens um 20 % unterscheiden. Kritischer sieht es bei den Transistoren T6 und T7 aus. Auch in diesem Fall besteht zunächst die Paarungsvorschrift: Der Arbeitspunkt kann zum Ausmessen mit $U_{CE} = 5$ V, $I_C = 50$ mA angegeben

werden. Daneben sollten beide Transistoren auch gleiche Kennlinien haben. Es wird aber nicht immer möglich sein, komplementäre Typen (pnp und npn) gleichen Materials und gleicher Technologie zu erhalten. Im Notfall müssen ein pnp-Germaniumtransistor (etwa GC 301) und ein npn-Siliziumtransistor (SF 121) gleichen Stromverstärkungswertes gekoppelt werden. Da sich ihre Kenndaten dennoch unterscheiden (ihre Stromverstärkungen ändern sich mit Variation des Stromes und der Spannung unterschiedlich), können dann die Verzerrungen des Verstärkers größer als angegeben sein.

Im Verstärker führt eine Gegenkopplung vom Ausgang über R49, C32 auf den Emitter des Eingangstransistors zurück. Sie verringert die Leerlaufverstärkung der Baugruppe und linearisiert gleichzeitig den Übertragungsbereich. Damit trägt sie entscheidend zur Verminderung des Klirrfaktors bei. Für die Vollaussteuerung des Endverstärkers sind etwa 120 bis 150 mV Eingangsspannung nötig. Dieser Wert wird hauptsächlich durch die Gegenkopplung bestimmt. Erhöht man sie durch einen kleineren Widerstandswert, so steigt zwar der Eingangsspannungsbedarf, der Klirrfaktor nimmt jedoch in gleichem Maße ab. Die Gegenkopplung ist durch C32 frequenzabhängig. Dieser Kondensator beschränkt den übertragenen Frequenzbereich bei hohen Tönen. Den gleichen Zweck erfüllt auch die Gegenkopplung vom Kollektor des Treibertransistors auf seine Basis mit dem Kondensator C29. Da die Gegenkopplung vom Ausgang auf den Eingang des Verstärkers mehrere Stufen erfaßt, wird als Treibertransistor ein Hochfrequenztyp benötigt, der durch seine kleine Phasendrehung die Stabilität erhöht.

Die Emitterwiderstände der Endstufentransistoren, R50 und R51, dienen (ebenso wie die der Phasenumkehrstufen) in bekannter Weise zur Strombegrenzung und zur Temperaturstabilisierung der Arbeitspunkte. Ihre Größe darf einen bestimmten, optimalen Wert nicht überschreiten, da sonst ein großer Teil der Ausgangsleistung in ihnen in Wärme umgesetzt wird und für den eigentlichen Zweck verlorengeht. Man fertigt die beiden Widerstände, die wegen ihrer hohen Belastbarkeit und des kleinen Ohmwertes kaum im Handel erhältlich sind, am besten selbst an. Dazu wird ein handelsüblicher 1/4-W-Widerstand (zweckmäßig mit axialen Drahtanschlüssen) eines relativ hohen Widerstandswertes (etwa 1 kΩ) mit einem Widerstandsdraht entsprechender, ausgemessener Länge bewickelt, dessen von der Isolation befreite Enden an die Anschlußdrähte gelötet werden.

Das Frequenzverhalten des Endverstärkers ist in Bild 4 dargestellt. Die obere Kurve zeigt den Spannungs-Frequenzgang, d. h. die Ausgangsspannungen für kleine Aussteuerungen; die untere Kurve gibt den Leistungs-Frequenzgang wieder, also die maximal entnehmbare Ausgangsspannung am Lastwiderstand.

2.3. Berechnung der Endstufe

Im folgenden werden die wichtigsten Dimensionierungsbedingungen und Eigenschaften für eisenlose Endstufen mit Transistoren genannt. Dadurch ist es möglich, von der Bauplanschaltung abweichende Dimensionierungen vorzunehmen, wenn dafür Gründe gegeben sind. Ohne Aussteuerung liegt am Lautsprecherkondensator etwa die halbe Betriebsspannung. Während der 1. Halbperiode des steuernden Wechselstromsignals wird der untere Endstufentransistor gesperrt, und es fließt ein Strom aus der Betriebsspannungsquelle über den Kondensator und den Lastwiderstand (Lautsprecher) nach Masse. Während der 2. Halbperiode ist der andere Transistor gesperrt, der Kondensator wirkt als Spannungsquelle und liefert den durch den Lastwiderstand fließenden Strom. Um die tiefen Frequenzen bei großen Strömen zu übertragen, muß der Kondensator einen hohen Kapazitätswert haben. Die am Lastwiderstand R_L auftretende Ausgangsleistung kann maximal den Wert

$$P_{a\,max} = \frac{(U_B - 2U_{CE\,Rest})^2 R_L}{8(R_E + R_L)^2} \qquad (1)$$

(U_B – Betriebsspannung,
$U_{CE\,Rest}$ – Restspannung am durchgesteuerten Transistor,
R_E – Emitterwiderstand)

erreichen.

Zur leichteren Auswertung wurde nach dieser Formel das Diagramm Bild 5 geschaffen, das der Ermittlung der maximalen Ausgangsleistung $P_{a\,max}$ in Abhängigkeit von der Betriebsspannung U_B und vom Lastwiderstand R_L als Parameter dient.
Für den Emitterwiderstand R_E eines Leistungstransistors können optimale Werte vorgegeben werden. R_E soll den Strom durch den Transistor stabilisieren, dabei aber selbst nur einen geringen Teil der Ausgangsleistung aufnehmen. Den jeweils optimalen Wert kann man aus Tabelle 1 ersehen.
Bei der Auswahl der Endstufentransistoren sind die möglichen Belastungswerte, der maximale Kollektorstrom und die größte Verlustleistung von Bedeutung.
Die maximale Amplitude des durch den Lastwiderstand fließenden Kollektorstroms (Spitzenstrom, nicht Dauergleichstrom!) ist gegeben durch

$$\hat{I}_{C\,max} = \frac{\frac{U_B}{2} - U_{CE\,Rest}}{R_E + R_L}. \qquad (2)$$

Der jeweilige Wert von $\hat{I}_{C\,max}$ als Funktion der Betriebsspannung und mit dem Lastwiderstand als Parameter ist aus Bild 6 zu ersehen. Bei der Angabe des Lastwiderstandes sind – wie auch in Bild 4 – die Emitterwiderstände mit eingerechnet.
Die maximale Verlustleistung für jeden Transistor ermittelt man aus

$$P_{V\,max} = \frac{U_B^2}{4\pi^2 R_a} \approx \frac{1}{40} \frac{U_B^2}{R_a}. \qquad (3)$$

Auch diese Beziehung wurde zur raschen Ermittlung interessierender Werte grafisch dargestellt (Bild 7). Ein Vergleich mit Gl. (1) läßt erkennen, daß die maximale Verlustleistung jedes Transistors etwa 20 % der maximal am Lastwiderstand zur Verfügung stehenden Leistung beträgt.
Eine Betrachtung des in diesem Bauplan vorgestellten Verstärkers zeigt:
Bei einer Betriebsspannung von 27 V und einem Lastwiderstand von 5 Ω betragen die maximale Ausgangsleistung etwa 15 W, die maximale Kollektorstromamplitude jedes Endstufentransistors 2,5 A und die maximale Verlustleistung jedes Endstufentransistors 3 W.
Bei der Angabe der maximalen Verlustleistung muß berücksichtigt werden, daß der Verstärker bei voller Aussteuerung voll begrenzt, am Ausgang entsteht statt des zu übertragenden Sinus eine Rechteckspannung. Die Verzerrungen sind entsprechend hoch. Die für den angegebenen Klirrfaktor ausnutzbare Ausgangsleistung liegt bei 10 W.
Unter Vernachlässigung der Transistorrestspannung $U_{CE\,Rest}$ und des Emitterwiderstandes R_E ergibt sich die maximale Ausgangsleistung des Verstärkers nach Gl. (1) zu

$$P_{a\,max} = \frac{U_B^2}{8 R_L}. \qquad (4)$$

Die Stromversorgung des Verstärkers wird nur während einer Halbperiode belastet, für die 2. Halbperiode liefert der aufgeladene Lautsprecherkondensator die Energie. Die der Stromversorgungsquelle entnommene Leistung P_B bei Sinusbetrieb des Verstärkers ergibt sich aus

$$P_B = \frac{U_B^2}{2 R_L \cdot \pi}. \qquad (5)$$

Daraus läßt sich der Wirkungsgrad η des Verstärkers bei Vollaussteuerung als Quotient der maximalen Leistung $P_{a\,max}$ und der der Stromquelle entnommenen Leistung P_B berechnen

$$\eta = \frac{P_{a\,max}}{P_B} = \frac{\pi}{4} \approx 78\,\%. \tag{6}$$

Praktisch kann man diesen Wert nicht erreichen, da zusätzliche Verluste durch die Emitterwiderstände und die Kollektorrestspannungen, die bei dieser überschlägigen Berechnung vernachlässigt wurden, entstehen. Als erreichbar haben sich Werte zwischen 60 und 70 % erwiesen.

2.4. Auswahl der Endstufentransistoren

Für die Auswahl der Transistoren der Endstufe sind zwei Gesichtspunkte von entscheidender Bedeutung: die maximal zu verarbeitende Verlustleistung und die Grenzfrequenz.

a) Verlustleistung
Es wurde errechnet, daß die maximale Verlustleistung an jedem Transistor 3 W erreichen kann. Die Betriebsspannung des Verstärkers ist 27 V. Bei voller Belastung werden die Transistoren bis in die Sättigung gesteuert und müssen infolge des Trägerspeichereffekts bei hohen Frequenzen daher gleichzeitig noch fast die gesamte Spannung aushalten. Sind in der Endstufe nun – als Beispiel – Transistoren mit – nach Katalogangabe – einer Verlustleistung von 3 W und einer höchstzulässigen Kollektor-Emitterspannung von 30 V eingesetzt, so werden dem Anschein nach die zulässigen Maximalwerte nicht überschritten. Daß dennoch eine Überlastung der Transistoren auftreten kann, wird im folgenden erläutert.
Der Basisstrom fließt beim Betrieb des Transistors vom ringförmigen Basisanschluß in radialer Richtung einwärts durch die dünne Basisschicht zwischen Emitter und Kollektor. Da diese Basisschicht einen Widerstand aufweist, entsteht in der Basis ein Spannungsgefälle. Der Kollektorstrom sucht sich den Weg des geringsten Widerstandes, er wird durch das Spannungsgefälle in der Mitte der Basis konzentriert. Das bedeutet, daß bei hohen Kollektorströmen nicht mehr die gesamte Basis an der Stromleitung beteiligt ist, sondern nur ein Teil, ein Kanal. Dieser Kanal erhitzt sich durch hohen Strom stark. Betreibt man den Transistor wiederholt in diesem Gebiet, so wird die Sperrschicht zerstört, bis Emitter und Kollektor kurzgeschlossen sind. Man spricht dabei von einem Durchbruch zweiter Art.
Weiter ist zu beachten, daß die Spannungsfestigkeit eines Transistors hauptsächlich durch die Angabe $U_{CE\,max}$ bestimmt wird und nicht durch den höheren Wert $U_{CB\,max}$. $U_{CE\,max}$, die zulässige Spannung zwischen Emitter und Kollektor, ist aber von Interesse, da die Transistoren in Emitter- bzw. Kollektorschaltung betrieben werden.
Da die Emitter-Kollektor-Spannungsfestigkeit durch den äußeren, zwischen Basis und Emitter angeschalteten Widerstand beeinflußt wird, geben einige Hersteller die zulässigen Spannungen als Funktion dieses Widerstandes an. Bild 8 zeigt diese Beziehung für den Transistor GD 170. Man erkennt, daß die zulässige Spannung für einen Abschlußwiderstand von 10 Ω bei 33 V liegt. Für höhere Widerstandwerte nimmt sie ab und beträgt bei 1 kΩ nur noch 20 V. Bleibt man unterhalb der für offene Basis zugelassenen Kollektorspannung, so ist man immer sicher in bezug auf Durchbrucherscheinungen. Die Spannung beträgt jedoch meist nur etwa die Hälfte des Wertes für $U_{CB\,max}$ und schränkt deshalb den Anwendungsbereich des Transistors stark ein.
Außerdem hängt die Kollektor-Emitter-Durchbruchspannung von der Stromverstärkung ab. Man sollte deshalb für den Einsatz Transistoren mit Stromverstärkungswerten wählen, die nicht höher als nötig sind, da Transistoren mit hoher Stromverstärkung bei gleichem $U_{CB\,max}$ einen niedrigeren Wert für $U_{CE\,max}$ haben. (Diese Forderung steht den allgemeinen Bedingungen entgegen, da Transistoren mit hoher Stromverstärkung geringere Steuerleistung benötigen.) In einigen Katalogangaben über Leistungstransistoren sind auch Darstellungen zu finden, die als Funktionsbeziehung die zulässige Abhängigkeit der Kollektorspannung vom

Kollektorstrom zeigen. Bild 9 bringt das als Beispiel für den Transistor ASZ 1016. Die Kurve gibt Werte an, die nicht überschritten werden dürfen. Zulässige Arbeitspunkte liegen alle auf der von der Abszisse, der Ordinate und der gegebenen Kurve begrenzten Fläche.

b) Grenzfrequenz
Die zur Verfügung stehenden Leistungstransistoren haben – je nach Technologie – verschiedene f_β–Frequenzen, die im Hörbereich liegen. f_β ist dabei die Grenzfrequenz des Transistors in Emitterschaltung. Für legierte Typen liegen die Frequenzwerte bei 5 kHz, für diffusionslegierte Transistoren werden Werte bis 10 kHz, in speziellen Fällen auch darüber erreicht. Diese Größe spielt beim Aufbau des Geräts eine entscheidende Rolle, da bei Aussteuerung oder Übersteuerung mit höheren Frequenzen die Verlustleistung im Transistor erheblich ansteigt. Das wirkt sich so aus, daß die Spannungen nicht mehr übertragen werden, sondern durch Phasendrehungen nur den Transistor aufheizen. Man kann sich den Effekt der Überlastung folgendermaßen erklären: Bei hohen Frequenzen gewinnt die Größe der Basis-Emitter-Kapazität an Bedeutung. Die beiden Leistungstransistoren sind für Gleichstrom in Reihe geschaltet. Nach Nulldurchgang schließt der eine Transistor nicht sofort (Speicherwirkung der Basis-Emitter-Kapazität), während der andere schon öffnet. Der Strom wird dabei nur durch die Emitterwiderstände begrenzt. Es ist von Vorteil, den Eingang für die Endstufe sehr niederohmig auszulegen, damit die Entladezeitkonstante für die störende Kapazität klein wird. Das wirkt sich aber als Verstärkungsverlust aus. In ungünstigen Fällen kann die Endstufe thermisch instabil werden und ausfallen. Das geschieht leicht durch den beim UKW-Empfang von Stereosendungen übertragenen Pilotton. Man muß deshalb die störenden Spannungen hoher Frequenz vom Verstärker fernhalten. Der im Stereodekoder verstärkte und verdoppelte Pilotton muß durch eine ausreichende Siebung genügend gedämpft werden. Eventuell sind dazu spezielle Siebglieder in Form von Tiefpaßfiltern nötig. Im Verstärker selbst findet eine Beschneidung der Höhen durch das frequenzabhängige Glied der Gegenkopplung und durch den Kondensator C29 statt (s. Bild 2). Der Hörbereich wird ungestört übertragen, die oberhalb 20 kHz liegenden Frequenzen werden dagegen stark beschnitten. Noch besser ist diese Begrenzung im Leistungs-Frequenzgang zu erkennen. Eine Verschlechterung der Höhenwiedergabe läßt sich nicht bemerken, da diese Töne von vornherein nur kleinere Amplituden haben.
Aus der Beziehung

$$f_\beta = \frac{f_\alpha}{\beta} \tag{7}$$

(die β-Grenzfrequenz ergibt sich als Quotient aus der Grenzfrequenz in Basisschaltung f_α und der Stromverstärkung β) folgt, daß bei gleichem f_α-Wert Transistoren mit kleiner Stromverstärkung bessere Frequenzwerte für die Leistungsstufen haben. Auch daraus erkennt man also, daß Transistoren mit möglichst kleinen Stromverstärkungen eingesetzt werden sollen, obwohl diese Bedingung der nach optimalen Steuerleistungsverhältnissen entgegensteht.

Tabelle 3 gibt eine Zusammenstellung der Kenndaten solcher Leistungstransistoren, die in Endstufen eingesetzt werden können. Interessant für Vergleiche sind vor allem die maximalen Betriebsspannungen sowie die Grenzfrequenzen. Daher lassen sich auch Importtypen wie AD 166 und AD 167 verwenden, die neben einer hohen Spannungsfestigkeit ein gutes Frequenzverhalten haben. Hohen Anforderungen genügt neben dem DDR-Typ GD 241 auch der AD 149. Die ASZ-Serie (VR Ungarn) gibt durch ihre hohe Verlustleistung die Möglichkeit, Schaltungen mit Ausgangsleistungen um 10 W ziemlich sicher auszulegen.

Sehr kritisch erscheint der Einsatz des GD 170, der nur unter großen Einschränkungen verwendet werden darf. Eine weitere Verbesserung des Frequenzverhaltens kann nur durch Silizium-Leistungstransistoren mit f_α-Grenzfrequenzen von mehreren Megahertz erreicht werden, z. B. mit Typen aus der ČSSR. Bild 10 zeigt Maße und Anschlüsse von Leistungstransistoren.

2.5. Steuerverstärker

Der Steuerverstärker (Bild 11) ist in jedem Kanal mit 3 Transistoren bestückt. Die 1. Stufe mit T1 stellt einen hochohmigen Verstärker in Emitterschaltung dar. Seine Wirkungsweise entspricht der der Eingangsstufe des Endverstärkers. Der Emitterwiderstand ist aufgeteilt (R5 und R6) und zur Hälfte kapazitiv überbrückt. Durch den oberen, nicht überbrückten Widerstand wird eine Stromgegenkoppelung des Transistors bewirkt. In dieser und in der folgenden Stufe sind rauscharme Transistoren einzusetzen, damit die teilweise sehr niedrigen Eingangsspannungen der Tonquellen störungsfrei verstärkt werden können. Bei der Überprüfung der Betriebsspannungen an T1 ist darauf zu achten, daß sich die angegebene Basisspannung nicht mit einem üblichen Vielfachmesser bestimmen läßt. Der niedrige Innenwiderstand dieser Meßsysteme bedämpft den hochohmigen Basiskreis so stark, daß Fehlmessungen unvermeidlich sind. Hier kann nur ein Röhren- der Transistorvoltmeter mit genügend hohem Eingangswiderstand benutzt werden. Statt dessen genügt aber auch eine niederohmige Überprüfung der Emitterspannung (vgl. Abschn. 3.). Für den nächsten Transistor (T2) wird die Basisvorspannung durch einen normalen Spannungsteiler R7, R8 erzeugt. Der Emitterwiderstand R11 ist durch die Kapazität C8 für Tonfrequenzen überbrückt. Ein besonderes Merkmal dieser Stufe stellt die umschaltbare Gegenkoppelung vom Kollektor auf die Basis dar. Der dafür vorgesehene Schalter S1c für den rechten Kanal (bzw. S1d für den linken Kanal) ist mechanisch mit dem Programmwähler gekoppelt. In der Stellung 1 bewirken C5, C7 sowie R9 und R10 die Schneidkennlinien-Entzerrung für den magnetischen Tonabnehmer. Die Kapazität von C6 ist dabei so groß, daß sie den Frequenzverlauf nicht beeinflußt und für diese Betrachtung vernachlässigt werden kann. Der erforderliche Frequenzverlauf der Wiedergabeeinrichtung ergibt sich aus den Bedingungen der Schallaufzeichnung auf der Schallplatte: Die Tonfrequenzspannung wird bei der Aufnahme in mechanische Schwingungen umgesetzt und mit einem Stichel in die Tonträgerplatte eingeritzt. Falls alle Frequenzen mit gleicher Spannungsamplitude aufgezeichnet werden, muß der Stichel bei tiefen Tönen große Auslenkungen schreiben. Im Vergleich zu hohen wird die Schallrille bei tiefen Tönen dadurch sehr viel breiter. Auf diese Weise würde aber die Schallplatte schlecht ausgenutzt, ihre Spieldauer wäre klein. Um diesen Nachteil zu umgehen, schneidet man bei der Aufnahme nicht alle Frequenzen mit gleicher Spannungsamplitude, sondern komprimiert die Tiefen. Diese Aufnahme-„Verzerrung" geschieht nach einer bestimmten, genormten Kennlinie, deren Verlauf durch die Zeitkonstanten $\tau_1 = 3180\,\mu s$, $\tau_2 = 318\,\mu s$ und $\tau_3 = 50\,\mu s$ bestimmt ist. Das entspricht nach der Bedingung

$$\tau = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{2\pi f} \quad (8)$$

den Frequenzen 50 Hz, 500 Hz und 3180 Hz. Bild 12 zeigt den Schneidfrequenzgang für Schallplattenaufnahmen. Das magnetische Tonabnehmersystem im Plattenspieler bildet aus der Bewegung der Abtastnadel (Saphir oder Diamant) die entsprechenden Tonfrequenzen etwa linear zurück; die Tiefen kommen also leiser. Das nachfolgende Verstärkersystem muß daher die Amplituden wieder in das richtige Verhältnis bringen. Das geschieht durch die Schneidkennlinienentzerrung, die einen zu der in Bild 12 gezeigten spiegelbildlichen Verlauf haben muß. Daher müssen, bezogen auf den Pegel bei der Frequenz von 1 kHz, die Tiefen angehoben und die Höhen entsprechend abgesenkt werden.
Das magnetische Abtastsystem gibt nur eine geringe Ausgangsspannung ab. Sie liegt im allgemeinen für die Bezugsfrequenz von 1 kHz bei $U_{eff} \approx 4$ mV und kann maximale Werte bis zu 30 mV erreichen. Der Vorverstärker (T1 und T2) hebt – neben der Entzerrung – dieses Potential so weit an, daß es zur Aussteuerung des Endverstärkers ausreicht.
In den nachfolgenden Stellungen 2, 3 und 4 des Schalters S1c wird die frequenzabhängige Gegenkopplung abgeschaltet und über R10 eine frequenzunabhängige Gegenkopplung eingestellt, so daß sich ein linearer Frequenzgang der Eingangsstufen erreichen läßt. R9 geht in diese Betrachtung nicht ein, da er durch C6 für alle Tonfrequenzen überbrückt wird. Das lineare Frequenzverhalten ist erforderlich für die Wiedergabe der Tonspannungsquellen Rundfunk, Magnetband und Kristalltonabnehmer. Die Bauelemente der frequenzbestimmenden

Gegenkopplung sollen paarweise ausgesucht werden. Dabei ist ihr absoluter Wert nicht sehr kritisch. Es kommt nicht so sehr auf den genauen Kurvenverlauf an, sondern auf Gleichheit beider Übertragungskanäle. Dadurch soll verhindert werden, daß bei beiden Kanälen unterschiedliche Klangeindrücke entstehen.
Die genannte Bedingung sollte bei allen frequenzabhängigen Bauelementen beachtet werden, also auch für die gehörrichtige Lautstärkereglung und für die Baugruppen der Höhen- und Tiefenregelung.
Bild 13 zeigt den Frequenzverlauf des Entzerrerverstärkers für magnetischen Tonabnehmer (a) und die übrigen Schaltstellungen (b). Das Kristall-Tonabnehmersystem gibt die Spannungen der Schallplatte mit fast linearem Frequenzverlauf wieder (es betont die Tiefen und gleicht damit die Schneidverzerrung etwa aus). Es muß dazu jedoch mit einem hohen Arbeitswiderstand von 500 kΩ bis 1 MΩ abgeschlossen werden. Die Ausgangsspannung erreicht dabei Werte von 0,5 bis 1,5 V. Die Wiedergabecharakteristik ist jedoch nicht so gut wie die des magnetischen Abtastsystems. Das wirkt sich insbesondere bei der Tiefenwiedergabe aus.
Vom Kollektor des Transistors T2 wird über C9 die verstärkte Spannung abgenommen. Der Signalweg verzweigt sich an dieser Stelle. Die Spannung gelangt einmal über den Entkoppelwiderstand R13 zur Tonabnehmerbuchse für die Aufnahme und zum anderen an die Bauelemente der Höhen- und Tiefenregelung. Die Funktionsgruppe ermöglicht die stetige Klangvariation zur Anpassung des Klangbildes an den persönlichen Geschmack. Außerdem können hiermit auch Unterschiede in der Frequenzcharakteristik der verschiedenen Signalquellen ausgeregelt werden. Die Höhenübertragung wird durch C10, C12 und das Potentiometer R14 beeinflußt, für die Tiefen sind R15, R16, R18 und C11, C13 bestimmend. R17 dient als Entkoppelwiderstand zwischen beiden Regeleinrichtungen.
Über C14 gelangt das korrigierte Signal an die nächste Verstärkerstufe (T3), die den Spannungspegel so weit anhebt, daß die Verluste, die in Tiefen- und Höheneinstellung auftreten, kompensiert werden. Auch für diesen Transistor ist eine teilweise Stromgegenkopplung wirksam, die der in Reihe mit dem Emitterkondensator C15 liegende Widerstand R21 hervorruft.
Die Betriebsspannung für T2 wird über S3b (für beide Kanäle gleichzeitig wirksam), der mit dem Netzschalter gekoppelt ist, geschaltet. Das hat folgenden Grund: Schaltet man das Gerät mit dem Netzschalter aus, dann können die Elektrolytkondensatoren der Stromversorgung noch geladen sein, so daß der Verstärker noch kurze Zeit „weiterspielt". Mit der dabei schnell abnehmenden Versorgungsspannung wird die Wiedergabe aber leiser und verzerrt. Dem begegnet man durch die gezeigte zusätzliche Abschaltung der Betriebsspannung für einen Vorstufentransistor. Dadurch kann kein Signal mehr zum Endverstärker gelangen.
Vom Kollektor T3 gelangt die Tonfrequenz über C16 an den Lautstärkeregler. Dieser ist für gehörrichtige Regelung ausgelegt. Betrachtet man den funktionellen Zusammenhang zwischen der Amplitude einer Schallquelle und dem subjektiven Lautstärkeeindruck, so stellt man fest, daß das menschliche Ohr bei kleinen Lautstärken für tiefe und hohe Frequenzen unempfindlicher ist. Die sogenannte „Ohrkurve" zeigt diesen Zusammenhang. Man kann aus ihr ersehen, daß bei kleinen, am Verstärker eingestellten Leistungen, wie sie in normalen Wohnräumen und als Unterhaltungsmusik sehr oft gewünscht werden, vor allem der Tiefeneindruck sehr schwach ist bzw. daß die mittleren Frequenzen stark überbetont werden. Die gehörrichtige Lautstärkeregelung vermeidet diese Nachteile. Sie hebt in Abhängigkeit vom eingestellten Grundpegel die tiefen und hohen Frequenzen entsprechend an, so daß immer ein gleichmäßiges Klangbild entsteht. Die dafür nötigen Entzerrerbauelemente C17, C18, C19, C20 sowie R24 und R25 werden an den Lautstärkeregler angeschlossen und kommen je nach Schleiferstellung mehr oder weniger zur Wirkung. Dabei wird ein Tandempotentiometer des erforderlichen Widerstandswerts mit 2 Anzapfungen vorausgesetzt. Falls sich ein solches Tandempotentiometer nicht beschaffen läßt, muß ein üblicher Typ eingesetzt werden. Die angeschlossenen Bauelemente entfallen dann. Eine Beeinflussung des Klangeindrucks ist auch in diesem Fall immer noch durch Höhen- und Tiefenregelung möglich.
Der Schleifer des Lautstärkereglers ist direkt mit dem Eingang des Balancereglers verbunden. Die Schaltung des Balancereglers ermöglicht einen großen Bereich der Mittenverschiebung (im Extremfall kann man sogar einen Kanal völlig sperren!).
Die Bauelemente R28 und C21 dienen der Siebung und Entkopplung der Speisespannung. Sie sind für beide Kanäle wirksam.

2.6. Eingangsschaltung (Bild 14)

Die von den Eingangsbuchsen der verschiedenen Programmquellen kommenden Signalspannungen muß man an den Verstärker anpassen, damit Übersteuerungen verhindert werden und immer ein optimaler Arbeitsbereich gewährleistet ist. Dazu dienen die direkt an die Buchsen angeschlossenen Widerstandskombinationen. Beim magnetischen Tonabnehmer wird, da sie sehr gering ist, die gesamte Spannung an den Steuerverstärker gegeben und verstärkt. Die hohe Spannung des Kristalltonabnehmers wird durch R52/R53 geteilt, dabei gewährleistet R52 die optimale Anpassung für das Kristallsystem. Gleiches gilt für das Magnetbandgerät. Dort ist der Teiler R55/R56 verantwortlich für richtigen Abschluß und Anpassung. Beim Rundfunkempfänger wird die NF-Spannung direkt nach der Demodulation abgenommen und nicht erst über den Niederfrequenzverstärker geführt. Je nach Ausführung des Geräts (röhren- oder transistorbestückt, Trennstufe oder direkter Ausgang) können die Spannungen sehr stark streuende Werte aufweisen. Zur Einpegelung sind in der Eingangsschaltung Stellwiderstände (R54) vorgesehen.

Diese Anpassung hat weiterhin den Vorteil, daß beim Umschalten alle Signalquellen etwa mit der gleichen Lautstärke erscheinen. Falls dabei doch erhebliche Unterschiede auftreten, müssen die Spannungsteiler für Kristalltonabnehmer und Magnetband geändert werden. Zweckmäßig ersetzt man die Widerstände R52 und R55 dann auch durch Einstellregler. Der Magnetbandanschluß erlaubt sowohl Wiedergabe als auch Aufnahme. Dazu werden alle 5 Steckkontakte benötigt. Der Programmwahlschalter S1a, S1b ist direkt mit dem Schalter für die Gegenkopplungsumschaltung S1c, S1d gekoppelt. Im Mustergerät wurde ein Zweiebenenschalter mit je 2 × 6 Schaltstellungen verwendet (Febana-Schalter), so daß insgesamt 4 Schalter mit je 6 Kontakten zur Verfügung standen. Die nichtbenötigten Rastungen (5. und 6. Rastung) wurden gesperrt. Ein gleicher Schalter wurde für die nachfolgende Seitenwahlschaltung benutzt. Dabei ist nur die nichtbenötigte 6. Schaltstellung festgelegt.

2.7. Netzteil

Für die Stromversorgung wurde ein geregeltes Netzteil (NG) aufgebaut (Bild 15), so daß der Verstärker immer eine konstante, brummfreie Spannung erhält. Die Netzwechselspannung wird durch einen Transformator der Kerngröße M 85 auf den erforderlichen Wert herabgesetzt und in der folgenden Graetz-Gleichrichterschaltung gleichgerichtet. Der Schutzwiderstand R57 verhindert eine Beschädigung der Gleichrichter. Er begrenzt den beim Einschalten fließenden Strom, der den Ladekondensator C34 auflädt. Regeltransistor für die Ausgangsspannung ist T12. In diesem Fall muß ein 15-W-Typ eingesetzt werden, der die bei voller Belastung auftretende Verlustleistung aushält. Der Transistor ist isoliert auf einem genügend großen Kühlblech zu befestigen, das man zur besseren Wärmeabstrahlung schwärzen kann. Geeignet dazu ist schwarze Schultafelfarbe. Angesteuert wird T12 vom Transistor T11, der, da er nur den Basisstrom für den Längstransistor aufzubringen hat, ein 4-W-Typ sein soll. Er muß auch nicht gekühlt werden. Für die Regelung wird am Spannungsteiler R62, R63, R64 ein Teil der Ausgangsspannung abgenommen und der Basis des Transistors T10 (GC 301) zugeführt. Am Emitter dieses Transistors liegt eine durch die Z-Diode D2 festgehaltene Spannung. Weicht die Basisspannung von der Emitterspannung ab, so verstärkt T10 diese Differenz, die über T11 auf den Regeltransistor wirkt. Dessen Stromfluß wird dadurch so gesteuert, daß die Ausgangsspannung konstantbleibt. Die Regelung ist um so effektiver, je höher die Verstärkung der am Transistor T10 liegenden Differenzspannung getrieben werden kann. Man sollte also für alle drei Transistoren solche mit großen Stromverstärkungswerten aussuchen. Das wird dadurch erleichtert, daß sich auch nichtklassifizierte Typen einsetzen lassen, da für die Bedingung der Stromregelung die dynamischen Kennwerte nicht sehr kritisch sind. Zur genauen Einstellmöglichkeit der Ausgangsspannung ist der Widerstand R63 als Regelwiderstand ausgeführt. Mit R61 wird der Arbeitsstrom für die Z-Diode festgelegt. Die verwendete Diode ZA 250/7 hat gute Werte sowohl bezüglich der Spannungs- als auch der Temperaturkonstanz.

R60 dient der Kompensation des Reststroms des Leistungstransistors. Die Basisspannung für T11 ist durch die Widerstände R58 und R59 gegeben. Der am Verbindungspunkt dieser beiden Widerstände liegende Kondensator C35 bestimmt die Brummsiebung des Netzbausteins; seine Siebwirkung wird durch die Stromverstärkungswerte der beiden Transistoren T11 und T12 erhöht. Beim Experimentieren mit dem Netzgerät muß man beachten, daß es nicht kurzschlußfest ist. Eine Überlastung (Kurzschluß an den Ausgangsklemmen) führt zur Zerstörung des Serientransistors. Schmelzsicherungen, die in die Zuleitungen eingefügt werden können, bieten keinen ausreichenden Schutz (selbst superflinke Typen nicht!), da der Transistor schneller als die Sicherung ist. Ein echter Schutz kann nur durch elektronisch arbeitende Sicherheitsschaltungen erreicht werden; der Aufwand erscheint aber für den beschriebenen Verstärker nicht unbedingt erforderlich (vgl. dazu Originalbauplan Nr. 12 „Stromversorgung für Transistorgeräte"!).

3. Leiterplatten

Die Baugruppen Steuerverstärker und Endverstärker befinden sich auf getrennten Leiterplatten. Beide Platten sind symmetrisch und tragen sowohl die Bauelemente des rechten als auch des linken Kanals. Für den Aufbau eines Monoverstärkers trennt man einfach die Vorlage an der Symmetrielinie und stellt nur eine Hälfte her. Die Vorlagen für die Leitungsführungen sind in Bild 16 (Steuerverstärker) und in Bild 17 (Endverstärker) im Maßstab 1:1 vorgegeben. Sie können zum einfachen Kopieren auf die Kupferseite des beschichteten Trägermaterials gelegt werden. Die erforderlichen Bohrungen überträgt man durch Ankörnen, danach läßt sich das Leitungsmuster zeichnen. Auf die Abdeckung der leitfähigen Teile und das anschließende Ätzen der Leiterplatte wird nicht näher eingegangen, da darüber an anderen Stellen genügend berichtet wurde. (Vgl. z. B. die Hinweise u. a. im Originalbauplan Nr. 14 „NF-Funkgeräte für kurze Strecken" oder Originalbauplan Nr. 15, „Transistorkleinstempfänger Mini 1 und Mini 2" sowie im Buch „Amateurtechnologie"!) Nach dem Beschneiden der Trägerplatten werden zunächst alle Löcher mit dem Durchmesser von 1 mm vorgebohrt. Falls bestimmte Bauelemente größere Öffnungen benötigen, wird nachträglich aufgebohrt. Das betrifft auch die mit einem Kreuz bezeichneten Stellen mit Durchmesser von 3,2 mm zur Befestigung der fertigen Leiterplatten mit M3-Schrauben. Die Verbindungen zu den Bauelementen, die sich nicht auf den Platten anordnen lassen, werden am besten über einzulötende Stecklötösen geführt. Dafür braucht man Bohrungsdurchmesser von 1,3 mm. Diese Anschlußstellen sind durch Zahlen oder durch das Massezeichen gekennzeichnet. Das Leitungsmuster für das Netzgerät zeigt Bild 18. Bei diesem ist darauf zu achten, daß die Leitungszüge, die mit dem vollen Gleichstrom der Endstufe belastet werden, von ausreichender Breite (minimal 5 mm) sind. Die Befestigungslöcher für den Leistungstransistor bohrt man mit 4,3 mm Durchmesser, seine Emitter- und Basisanschlüsse erhalten 1,6-mm-Löcher. Die Bohrungsdurchmesser für alle Einstellregler-Anschlüsse sind 1,3 mm.

Die Bestückungspläne der Leiterplatten aller Baugruppen zeigen die Bilder 19, 20 und 21. Sie sind so dargestellt, daß man auf die Bauelementeseite sieht; das Leitungsmuster schimmert dann in der gezeigten Lage durch, wenn man eine Lampe dahinterhält. (Durch den symmetrischen Aufbau beider Kanäle kommt es nur zunächst so vor, als sei auch beim Bestückungsplan die Leiterseite wiedergegeben!) Man setzt vorerst die Widerstände ein. In vielen Fällen müssen sie aus Platzersparnisgründen stehend montiert werden. Dazu eignen sich Typen mit axialen Drahtanschlüssen besser als die Radialausführungen. Darauf folgen die Kondensatoren. Auch sie müssen – vor allem die mit kleinen Kapazitätswerten – gestellt werden. Bei der Platte des Leistungsverstärkers ist darauf zu achten, daß die großen Elektrolytkondensatoren C23, C27 und C28 andere, flach auf der Leiterplatte liegende Bauelemente überdecken. Sie sind also zum Schluß einzulöten. Dabei dürfen sie die darunter liegenden Bauelemente nicht berühren. Eine spezielle Befestigung brauchen sie nicht, da sie durch ihre stabilen Anschlußdrähte sicher gehalten werden. Vor Beschaffung dieser größeren Kondensatoren nehme man vom Bestückungsplan die maximal möglichen Größen ab, da es im Angebot sehr unterschiedliche Bauformen gibt. Im allgemeinen wurden schon relativ große Typen berücksichtigt.

C30 wird durch die Parallelschaltung zweier Typen von je 100 μF (Elektrolytkondensator für gedruckte Schaltung) gebildet. Die Elektrolytkondensatoren für die Lautsprecherausgänge (C133 und C233) sind mit auf der Leiterplatte angeordnet. Sie werden durch zwei Aluminium-Befestigungswinkel gehalten. Ihre Schraubverbindung übernimmt auch die elektrische Leitung des Minuspols. Die Maße für beide Befestigungswinkel sind in der Einzelteilzeichnung (Bild 22) angegeben. Als letzte werden die Halbleiterbauelemente eingelötet.
Die Anschluß-„Beine" der Kleinleistungstransistoren überzieht man mit Isolierschlauch, um Schlüsse zwischen den Elektroden zu vermeiden. Der Treibertransistor T5 sowie die Transistoren der Phasenumkehrstufe (T6 und T7) bekommen zur Kühlung Kühlsterne. Eine besondere Befestigung erübrigt sich auch bei ihnen. Die Anschlußdrähte sind so stabil, daß sie die Transistoren sicher tragen. Vorsicht ist beim Einlöten der Dioden und Transistoren geboten, damit man sie nicht durch zu starkes Erwärmen zerstört. Wer sich dabei noch nicht ganz sicher fühlt, sollte lieber die Wärme durch eine Flachzange, die oberhalb der Leiterplatte an die Zuleitungsdrähte gehalten wird, abführen.
Die Netzgleichrichter werden direkt in die Leiterplatte eingelötet. Der Leistungstransistor ist unter Zwischenlage von 5 mm hohen Abstandsrohren auf der Leiterplatte angeschraubt. Diese Schraubbefestigung übernimmt auch die Kollektorstromzuführung. Danach werden Basis- und Emitteranschluß mit den entsprechenden Leiterzügen verlötet.

Alle Schraubverbindungen, die auch Stromleitungen übernehmen, sind sehr sicher (fest) auszuführen. Auf Korrosionserscheinungen oder Belag von Lötflußmitteln ist zu achten. Zur Sicherheit können diese Verbindungen noch durch Verlöten verbessert werden.
Nach Fertigstellung überprüft man sofort die Baugruppen auf den Leiterplatten. Das erspart später Ärger und Zeitverlust.

Als erstes nimmt man das Netzgerät in Betrieb. Netztransformator, Leiterplatte, die entsprechenden Elektrolytkondensatoren und der Leistungstransistor mit seiner Kühlplatte werden zusammengeschaltet. Bei richtigem Aufbau muß sich am Einstellregler R63 die genannte Ausgangsspannung einstellen lassen. Die Belastung dieses Bausteins bildet man vorerst durch entsprechende Widerstände nach, damit sich die einwandfreie Funktion überprüfen läßt. Der Endverstärker wird zunächst in „fliegender Verdrahtung" zusammengeschaltet. Bei den Endstufentransistoren darf aber die Kühlung nicht vergessen werden. Entweder setzt man sie schon auf das endgültige Chassis, oder man benutzt einzelne Kühlbleche mit den Maßen 100 mm × 100 mm × 2 mm.
Der Ruhestrom der Endstufe muß sich am Regler R43 auf 20 bis 30 mA einstellen lassen. Den Ruhestrom kann man mit Hilfe eines Strommessers messen, der in die Kollektorleitung von T8 gelegt wird. Darüber hinaus läßt er sich durch den Spannungsabfall über R50 oder R51 bestimmen. Nach dieser Überprüfung können die Leiterplatten durch einen Überzug auf der Kupferseite gegen Korrosion geschützt werden. Man streicht sie dazu mit einer Lösung von Kolophonium in Spiritus oder Alkohol ein.
Beim Steuerverstärker sind die angegebenen Spannungswerte zu messen. Als Vergleichspunkt dient der Pluspol der Spannungsquelle. Der Pluspol des Meßinstruments (Vielfachmesser mit einem Innenwiderstand von mindestens 20 kΩ) ist mit der Masseleitung zu verbinden. Die Spannungen müssen innerhalb einer Fehlergrenze von ± 10 % mit den angegebenen Werten übereinstimmen. Anderenfalls sind die Basisspannungsteiler zu ändern, da die Transistoren dann stark abweichende Stromverstärkungswerte haben. Wie schon gesagt, die Basisspannung des 1. Transistors (ebenso in der Endstufe), läßt sich nur mit einem hochohmigen Meßgerät bestimmen. Dieser Meßvorgang kann aber entfallen, da die übrigen Spannungsangaben den Arbeitspunkt ausreichend bestimmen. Die Bilder 23 und 24 enthalten Gesamtansichten der fertigen Baugruppen Steuerverstärker und Endverstärker.

4. Chassis und Gehäuse

Aus Preisgründen wurde für das Mustergerät ein handelsübliches Gehäuse einer ausgelaufenen Rundfunkempfängerserie benutzt. Ein Gehäuse mit gleichen Maßen kann auch einfach selbst hergestellt werden, da es nur aus einem Rahmen (Grund- und Deckfläche sowie

Seitenwänden) besteht. Es lassen sich auch andere Gehäuseformen und -größen benutzen, dann muß man Chassis und Anordnung der Baugruppen entsprechend variieren. Das Mustergehäuse hat die Innenmaße 404 mm (Breite) × 177 mm (Tiefe) × 110 mm (Höhe). Als Träger für den gesamten Verstärkeraufbau wurde ein Chassis nach Bild 25 mit den Maßen 400 mm × 165 mm × 15 mm aus 2 mm dickem Aluminiumblech angefertigt. Dieses Chassis wird über 4 Blechwinkel mit Gewindebohrungen mit der Gehäuseunterseite verschraubt. An der Rückseite des Chassis befestigt man einen 2 mm dicken und 60 mm breiten Blechstreifen, der die Bauelemente, Sicherung, Lautsprecher- und Diodenbuchsen trägt (Bild 26). Die Vorderseite bekommt eine 110 mm breite und 2,5 bis 3 mm dicke Trägerplatte für die Befestigung der Bedienelemente (Netzschalter, Programmwahlschalter, Seitenvertauschung, Balance-, Lautstärke-, Tiefen- und Höhenregelung) sowie des Steuerverstärkers (Bild 27). An der Platte der Rückseite sind neben der Buchse für den Rundfunkanschluß die Einstellregler R154 und R254 angeschraubt. Man kann sie durch zusätzliche Löcher mit Hilfe eines Schraubenziehers von außen bedienen. Der gleiche Platz ist auch neben den Buchsen für Magnetband und Kristalltonabnehmer vorgesehen, damit man auch hier bei Bedarf solche Einstellregler einsetzen kann. Front- und Rückplatte werden mit dem Chassis verschraubt. Das Chassis erhält für jede Platte an mindestens 5 Stellen Gewindebohrungen M2,6, deren Lage genau den 3-mm-Durchgangslöchern anzupassen ist.
Front-Trägerplatte und Chassis werden erst nach dem Anbringen und Verdrahten der elektrischen Baugruppen zusammengeschraubt. Die Lage der Baugruppen auf dem Chassis wurde in Bild 25 mit angegeben. Der Netztransformator wird mit Hilfe seiner 4 Befestigungswinkel auf der rechten hinteren Ecke angeschraubt, davor steht die Leiterplatte des Netzgeräts. Sie befestigt man, ebenso wie die Platte des Endverstärkers (deren Lage ebenfalls angegeben ist), aufrecht stehend mit kleinen Blechwinkeln. Die angegebenen Abstände von den anderen Baugruppen bzw. von der Rückwand sind dabei genau einzuhalten, damit man beim nachträglichen Verdrahten keine Schwierigkeiten hat.
Die Endstufentransistoren werden auf dem Chassis montiert, es dient ihnen als Kühlfläche zur Wärmeableitung. Ihre Anordnung ist ebenfalls aus Bild 25 zu ersehen, die Einbaumaße zeigt Bild 10. Die Befestigungslöcher werden als M2,6-Gewindebohrungen ausgeführt. Die Durchführungen für Emitter und Basis sollen etwa 4 mm Durchmesser haben. Die Transistoren müssen mit Hilfe der zugehörigen Befestigungsbuchsen und Glimmer- (oder Kunststoff-) Scheiben isoliert aufgeschraubt werden. Für den Kollektoranschluß, der mit dem Gehäuse verbunden ist, bringt man eine Lötöse an. Beim Einbau achte man besonders darauf, daß die Chassisflächen, die die Transistoren aufnehmen sollen, und auch diese selbst an den Bohrungen völlig frei von Grat und anderen Verschmutzungen sind. Sonst kann es geschehen, daß sich beim Verschrauben diese Stellen durch die Isolierscheibe drücken, den Kollektor mit dem Chassis verbinden und einen Kurzschluß herbeiführen, der den Transistor zerstört. Montiert werden die Transistoren so, daß ihr Gehäuse oberhalb des Chassis liegt, während die Emitter- und Basisanschlüsse in den unteren Raum hineinragen. Für die Verdrahtung muß das Chassis 2 Durchbrüche erhalten, die die Zuleitungen zu diesen Anschlüssen ermöglichen.
Des weiteren trägt das Chassis die Kühlplatte mit dem Serientransistor der Stromversorgung. Das Kühlblech wird aus 2 mm dickem Aluminiumblech nach Bild 28 angefertigt. Auch dieser Transistor muß isoliert befestigt werden. Für die Wärmeableitung ist es jedoch günstiger, ihn unmittelbar aufzuschrauben und dafür das Kühlblech vom Chassis zu isolieren. Der direkte Wärmeübergang vom Transistor zum Blech ist besser als der über eine Isolierzwischenlage. Auch in diesem Fall achte man darauf, daß das Kühlblech eine ebene Oberfläche aufweist, damit der Kontakt zum Transistor nicht nur an einigen Stellen geschaffen wird. Ein weiterer Blechwinkel (Bild 29) dient zur Aufnahme der Elektrolytkondensatoren C34 und C36. Auch seine Lage ist aus Bild 25 zu ersehen. Die Kondensatoren sind unter Verwendung entsprechender Kunststoffscheiben und des Lötanschlusses vom Chassis isoliert zu befestigen. In der Nähe der Emitteranschlüsse der Leistungstransistoren werden Lötstützpunkte angeschraubt, die die Emitterwiderstände tragen und eine mechanisch stabile Verbindung gewährleisten. Die Front-Trägerplatte erhält Bohrungen für die Achse der Regelglieder. Diese Bauelemente (Tandempotentiometer und Drehschalter) sind nicht direkt daran befestigt, sondern werden auf Blechstreifen angeordnet, die man mit 12-mm-Abstandstücken anschraubt. Damit wird

erreicht, daß die Achsführungen nicht durch die Frontplatte hindurchragen. Die Lage erkennt man aus Bild 27. Nur der Netzschalter wird direkt an dieser Platte befestigt. Des weiteren trägt die Frontplatte an der Rückseite – über Blechwinkel befestigt – den Steuerverstärker. Seine Leiterseite weist nach oben, die Bauelemente zeigen also nach unten, zu den Einstellgliedern. Die Anordnung ersieht man aus den Einzelteilzeichnungen (Bild 30). Alle Befestigungsschrauben an der Vorderseite der Front-Trägerplatte sind zu versenken, so daß die Vorderfront eine glatte Fläche bildet, auf der später die eigentliche Frontplatte befestigt wird. Diese ist aus dünnem Aluminiumblech passend für die Gehäusevorderseite zurechtzuschneiden. Sie bekommt nur die Bohrungen für die Achsdurchführungen der Einstellpotentiometer und Schalter und für den Netzschalter. Befestigt wird sie (nachdem der gesamte Verstärker fertiggestellt und in Betrieb genommen wurde) durch die Schraubverbindung des Netzschalters. Außerdem kann sie zusätzlich angeklebt werden, oder man befestigt sie mit 4 Schrauben, die dann aber sichtbar bleiben, an der Front-Trägerplatte. Zur Verbesserung des Eindrucks wird die Frontplatte mit feinem Schmirgelleinen angerauht und anschließend farbig lackiert.

5. Verdrahtung

Vor dem Zusammenbau sind die Baugruppen so zu kennzeichnen, daß eine eindeutige Zuordnung zum rechten oder linken Kanal gesichert ist. Beim Verdrahten werden das Chassis mit den Baugruppen Netzteil und Endverstärker sowie die Frontträgerplatte mit dem Steuerverstärker als getrennte Baugruppen behandelt und erst nach der letzten elektrischen Prüfung zusammengeschraubt. Die Verbindung zwischen beiden Systemen besteht aus einem flexiblen Kabelbaum.

Um Mißerfolge beim Aufbau auszuschalten, wird der Verlauf der Masseleitung genau beschrieben:

In der Nähe des Netzgeräte-Elektrolytkondensators (Pluspol) C36 schraubt man am Chassis eine starke Lötöse an. Sie stellt die einzige Masseverbindung mit dem gesamten Chassis dar. Zur Sicherheit muß die Masseleitung an gefährdeten Stellen mit Isolierschlauch überzogen werden. Vom Punkt 1 der Netzgeräteleiterplatte wird eine Leitung mit einem Querschnitt von 1 mm^2 an die Lötöse geführt. Weiter verbindet man mit dieser Lötöse mit gleichen Drahtstärken: Pluspol der Elektrolytkondensatoren C34 und C36, Massepol der Lautsprecherbuchsen, Masseanschlüsse der Vorwiderstände für die Leistungstransistoren der Endstufen R151 und R251. Außerdem führt man von diesem Punkt mit dünnerer Leitung die Verbindung zum Steuerverstärker (SV) 4. Vom Punkt 2 des SV geht die Masseleitung zu den Anschlußpunkten 2 aller Eingangsbuchsen. Hieran sind die Erdpunkte der Eingangsteile gelegt. Die Schirmanschlüsse der abgeschirmten Leitungen führt man an den vorgegebenen Punkten an Massepotential. Für alle Leitungen von den Eingangsbuchsen zum Programmwahlschalter ist der Masseanschluß Punkt 2 der Steuerverstärkerplatte. Das Mantelgeflecht von abgeschirmten, tonfrequenzführenden Leitungen darf auf keinen Fall an beiden Enden mit Masse verbunden werden, sondern immer nur an einem Punkt!

Die Bauelemente der Klangregelung sowie des gehörrichtigen Lautstärkepotentiometers, die keinen Platz auf der Leiterplatte des Vorverstärkers haben, werden freitragend zwischen den Potentiometern angebracht. An die Anschlußpunkte der Steuerverstärkerplatte lötet man genügend lange Drähte, bevor man sie mit der Frontträgerplatte verschraubt. Das ermöglicht besseres Arbeiten, da diese Punkte im zusammengeschraubten Zustand schwer erreichbar sind.

Die Verbindungen vom Steuerverstärker zu den Klang- und Lautstärkereglern brauchen nicht abgeschirmt zu werden. Sie sind so kurz wie möglich zu verlegen, ohne daß man Kabelbäume anfertigt. Die Bedingung für die Führung der Masseleitung gilt auch für die Anschlüsse der Einstellglieder. Alle Masseanschlüsse der Tiefen-, Höhen-, Lautstärke- und Balanceregler werden zusammengefaßt und einzeln an die Masseleitung des Steuerverstärkers geführt. Die Zuleitungen zum Netzschalter müssen getrennt von allen übrigen Leitungen verlegt werden; sie sind an der rechten Seitenwand entlangzuführen. Diese Leitungen sollte man abschirmen.

Tabelle 2

Vergleichsdaten von Germanium-pnp-Leistungstransistoren

		Kenndaten				Grenzdaten				
	Bauform	f_T	f_β	R_{Th}	$P_{Tot.}$	U_{CE}	U_{CBO}	I_C	U_{CER}	bei R
Typ	lt. Bild 10	in MHz	in kHz	in °C/W	in W	in V	in V	in A	in V	in Ω
GD 170	1	0,2		7,5			33	3	25	100
GD 175	1	0,2		7,5			50	3	48	50
GD 180	1	0,2		7,5			66	3	60	50
GD 240	1	0,45		4			30	3	25	50
GD 241	1	0,45		4			40	3	35	50
ASZ 1015	2	0,250		2	22,5	60	80	6		
ASZ 1016	2	0,250		2	22,5	48	60	6		
AD 149	2	0,5	10	2	27,5	30	50	3,5		
AD 166	2	3	75	2	27,5	50		5		
AD 167	2	4	75	2	27,5	50		5		
AD 162	1	1,5	15		6	20	32	1		
AD 162U	1	1,5	15		6	50	80	1		

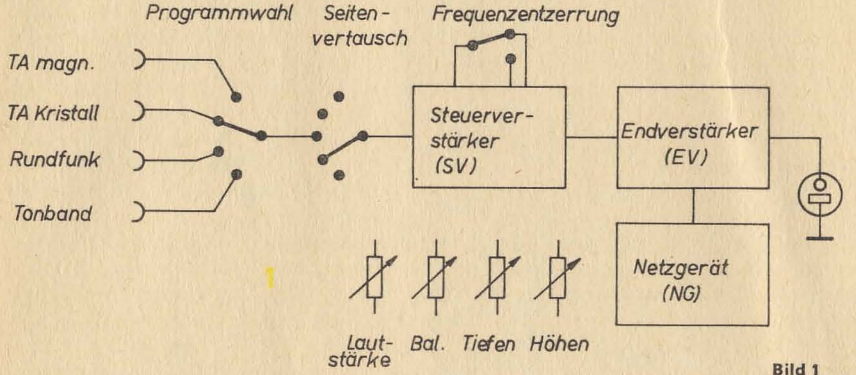


Bild 1
Prinzipschaltung des Stereo-Verstärkers

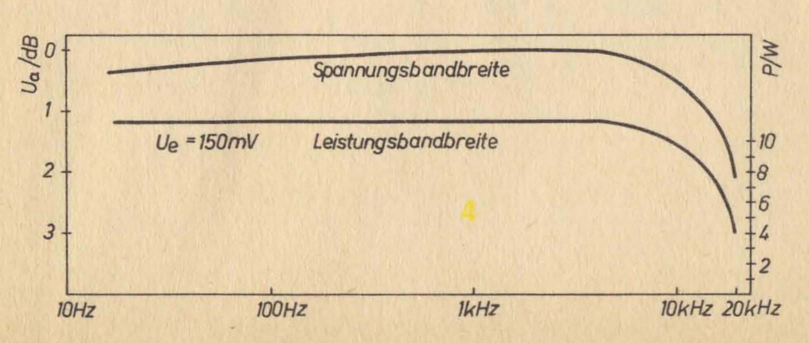


Bild 4
Frequenzgang des Endverstärkers

Tabelle 3

Bauelemente des Endverstärkers (s. Bild 2)

R129,	R229	82 kΩ	1/8 W
R130,	R230	33 kΩ	1/8 W
R131,	R231	4,7 kΩ	1/8 W
R132,	R232	560 Ω	1/8 W
R133,	R233	2,2 kΩ	1/8 W
R134,	R234	8,2 kΩ	1/8 W
R135,	R235	820 Ω	1/8 W
R136,	R236	120 Ω	1/8 W
R137,	R237	4,7 kΩ	1/8 W
R138,	R238	33 kΩ	1/8 W
R139,	R239	3,3 kΩ	1/8 W
R140,	R240	3,3 kΩ	1/8 W
R141,	R241	270 kΩ	1/8 W
R142,	R242	270 Ω	1/8 W
R143,	R243	1 kΩ Einstellregler für gedruckte Schaltung, Nenngröße 1, Form P	
R144,	R244	500 Ω TNM-Halbleiterwiderstand	
R145,	R245	15 kΩ	1/8 W
R146,	R246	68 Ω	1/8 W
R147,	R247	5,6 Ω	1/8 W
R148,	R248	68 Ω	1/8 W
R149,	R249	47 kΩ	1/8 W
R150,	R250	0,5 Ω	1 W, drahtgewickelt
R151,	R251	0,5 Ω	1 W, drahtgewickelt
C122,	C222	Elyt 200 μF/25 V freitragend	
C123,	C223	Elyt 50 μF/25 V freitragend	
C124,	C224	Lackfilm 1 μF/63 V	
C125,	C225	Elyt 10 μF/10 V freitragend	
C126,	C226	Elyt 5 μF/25 V freitragend	
C127,	C227	Elyt 100 μF/25 V freitragend	
C128,	C228	Elyt 50 μF/25 V freitragend	
C129,	C229	68 pF Keramikkondensator	
C130,	C230	2 × 100 μF/10 V Elyt für gedruckte Schaltung	
C131,	C231	Elyt 5 μF/10 V freitragend	
C132,	C232	68 pF Keramikkondensator	
C133,	C233	Elyt 2000 μF/25 V mit Schraubbefestigung	
T104,	T204	GC 121, GC 122, β > 50	
T105,	T205	GF 126, GF 128, GF 130, β > 50	
T106,	T206	gepaart	GC 121, GC 301, GC 501, AC 132
T107,	T207		101 NU 71, SF 121, GC 521, AC 127
T108,	T208	gepaart, siehe Tabelle 2	
T109,	T209		
D101,	D201	OA 900, SAY 40	
Bu 5,	Bu 6	Lautsprecherbuchse	

Bild 2
Stromlaufplan der Endstufe

Bild 3
Stromlaufplanauszug der Endstufe

Bild 8
Maximal zulässige Kollektorspannung in Abhängigkeit vom Eingangswiderstand für den Transistor GD 170

Bild 10
Anschlußmaße für die Transistoren nach Tabelle 2

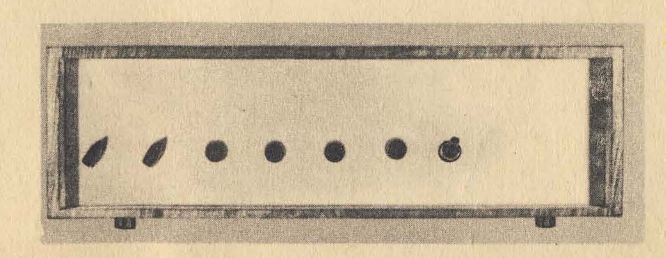


Bild 31
Äußeres des Stereo-Verstärkers

170

Φ3,2

Φ3,2

80

16

Φ3,2

Φ3,2

85

Φ4,3

90

18

Φ4,3

Φ 3,2

Φ3,2

210

90

Φ3

17

Φ3,2

Φ3

Φ3,2

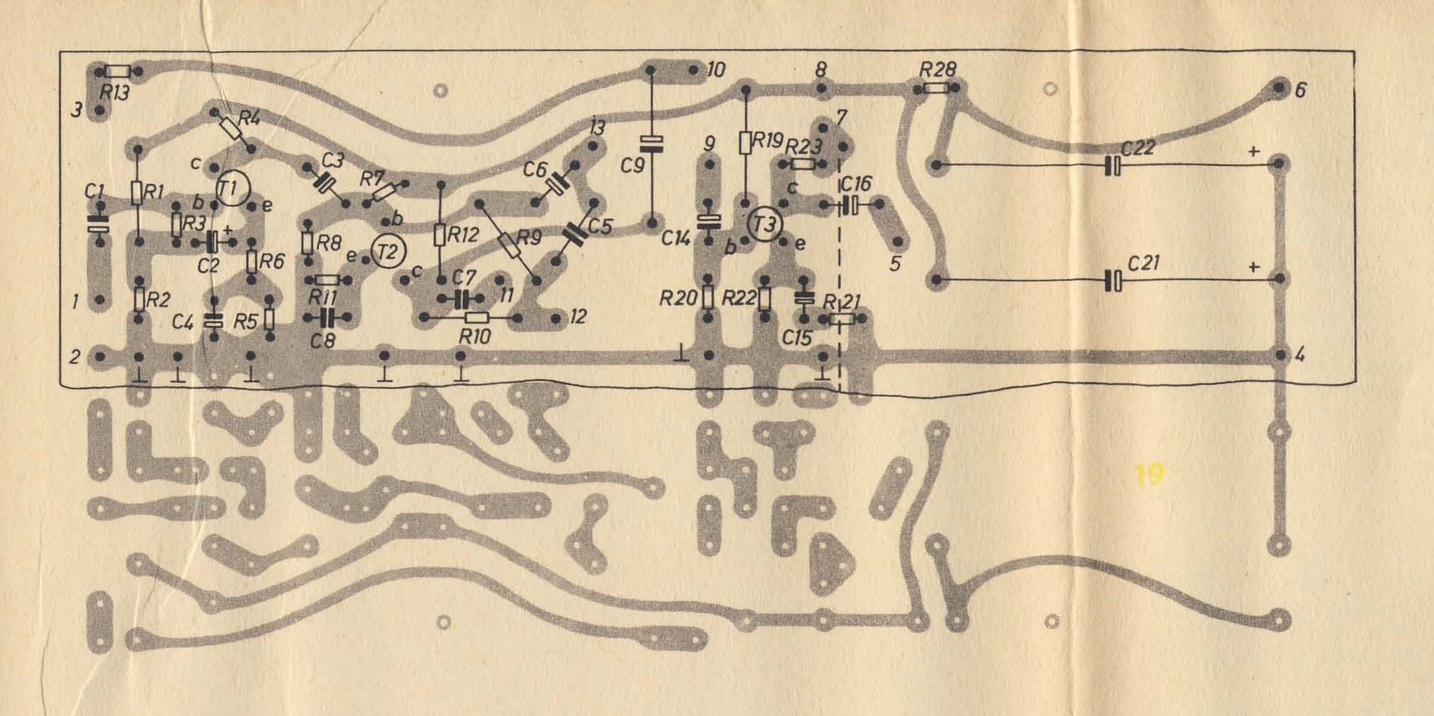
Bild 16
Leitungsmuster des Steuerverstärkers

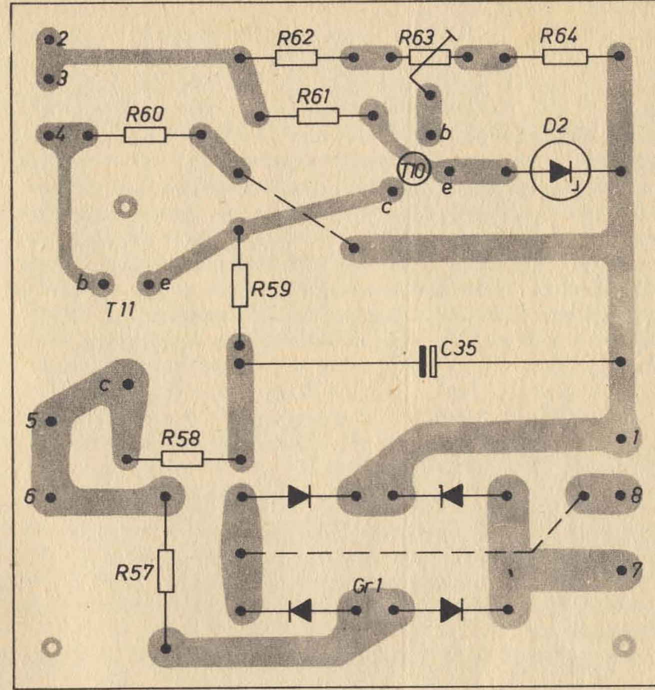
Bild 17
Leitungsmuster des Endverstärkers

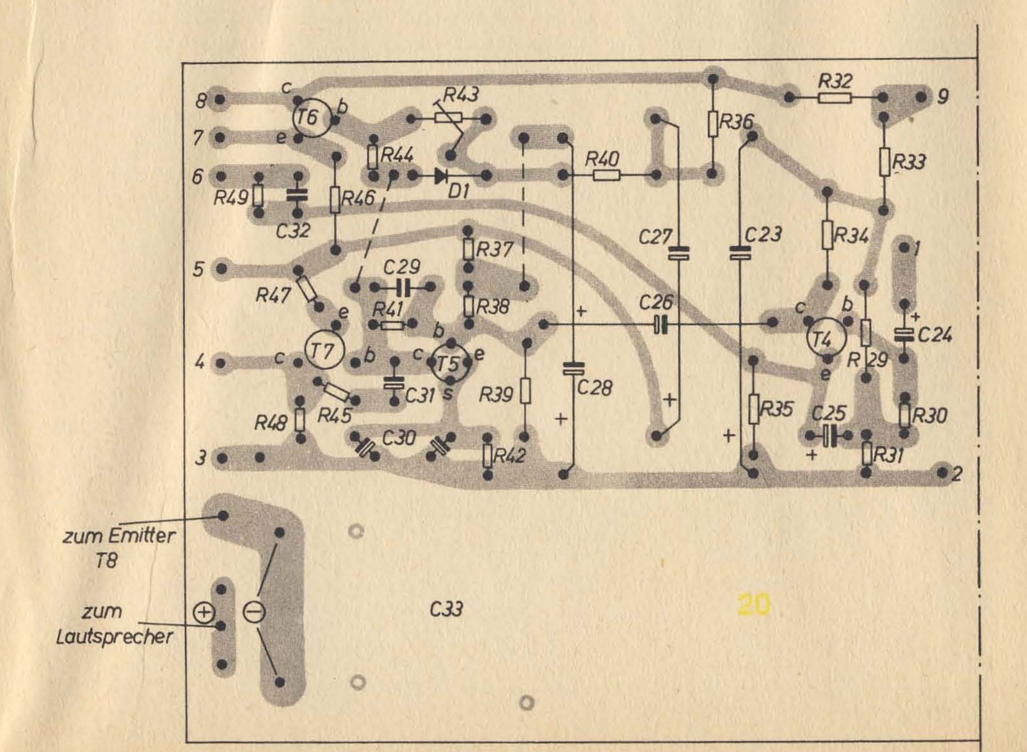
Bild 18
Leitungsmuster des Netzteils

Bild 20
Bestückungsplan des Endverstärkers (nur 1 Kanal dargestellt)

Bild 19
Bestückungsplan des Steuerverstärkers (Bauelemente ohne Vorziffer bezeichnet; 1. Kanal dargestellt, der 2. Kanal ergibt sich durch symmetrische Ergänzung der Bestückung)







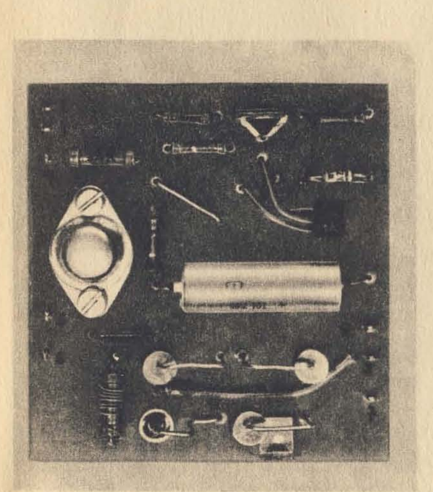


Bild 21
a – Bestückungsplan der Netzteilleiterplatte,
b – ausgeführtes Muster

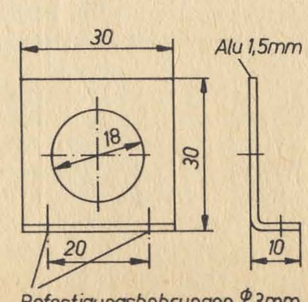
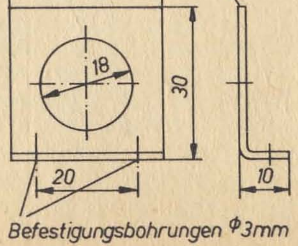



Bild 22
Befestigungswinkel für die Lautsprecherkondensatoren

6. Abgleich und Inbetriebnahme

Vor der Inbetriebnahme sind alle Leitungsführungen auf Kurzschlüsse zu überprüfen, insbesondere auch die Isolation der Leistungstransistoren vom Chassis. Zur Kontrolle kann ein Tonfrequenzgenerator an die Rundfunkeingangsbuchse angeschlossen werden; die Ausgangsspannung kontrolliert man an einem Lautsprecherersatzwiderstand (5 Ω, 15 bis 20 W). Die Übertragung der Sinusspannung muß bis zur Begrenzung einwandfrei sein; die Begrenzung soll gleichmäßig erfolgen, d. h., die Spitzen der positiven und negativen Halbwellen sollen gleichzeitig abgeschnitten werden. Ist das nicht der Fall, so stimmen die gepaarten Transistoren nicht in ihren Werten überein, und der geforderte kleine Klirrfaktor läßt sich nicht einhalten.
Zur Lautstärkeeinpegelung legt man an die Eingangsbuchsen Musikprogramme. Als Bezugssignal gilt die Spannung des magnetischen Tonabnehmers, da sie nicht verändert werden kann. Die Stellwiderstände des Rundfunkeingangs ändert man so, daß beim Umschalten auf magnetischen Tonabnehmer keine Lautstärkesprünge festzustellen sind. Die anderen Eingänge kontrolliert man ebenso. Treten dabei erhebliche Abweichungen auf, so müssen die festen Glieder – wie schon beschrieben – durch Einstellwiderstände ersetzt werden.

7. Literatur

Eine Reihe von Literaturhinweisen auf Baupläne und Bücher des DMV erfolgte bereits im Text. Zur Ergänzung der Informationen über eisenlose Endstufen und Stereoverstärker können noch folgende Quellen dienen:

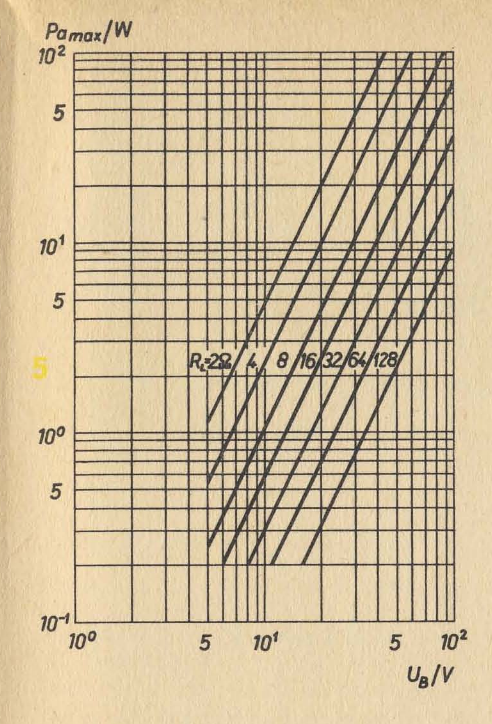
1. Technische Mitteilungen Halbleiter Nr. 2 – 6300 – 125 (Fa. Siemens)
2. Kollektor-Durchbrucherscheinungen an Leistungstransistoren, Sonderdruck 7/1961 der Fa. Intermetall
3. Funk-Technik, Heft 9/1964, Seite 302–304

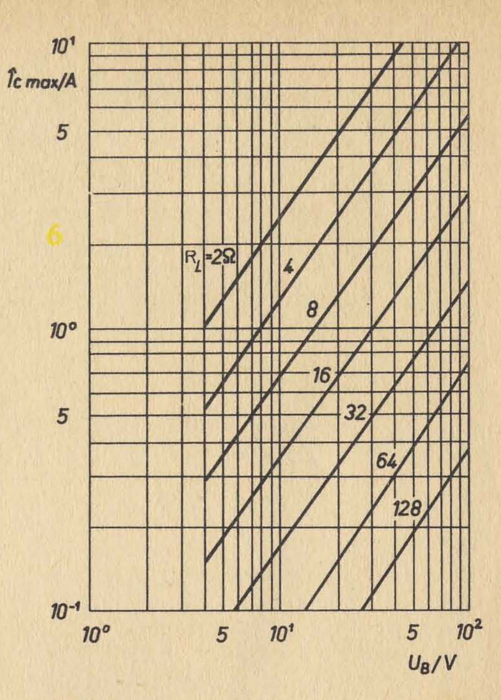
Tabelle 1

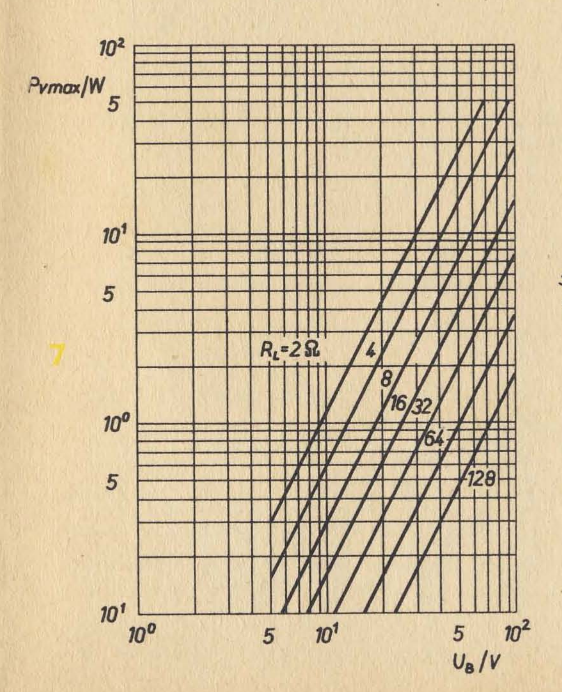
Optimaler Emitterwiderstand R_E in Abhängigkeit vom Lastwiderstand R_L

R_L in Ω	R_E in Ω
2	0,25
4	0,5
8	1
16	1
32	2
64	2
128	2

Redaktionsschluß: 15. April 1970 · 1.–20. Tausend · Deutscher Militärverlag · Berlin 1971 · Lizenz-Nr. 5 · Lektor: Wolfgang Stammler · Zeichnungen: Manfred Schulz · Typografie: Helmut Herrmann · Fotos: Verfasser · Korrektor: Johanna Pulpit · Hersteller: Werner Briege · Gesamtherstellung: Sachsendruck Plauen · Bestellnummer: 745 342 9







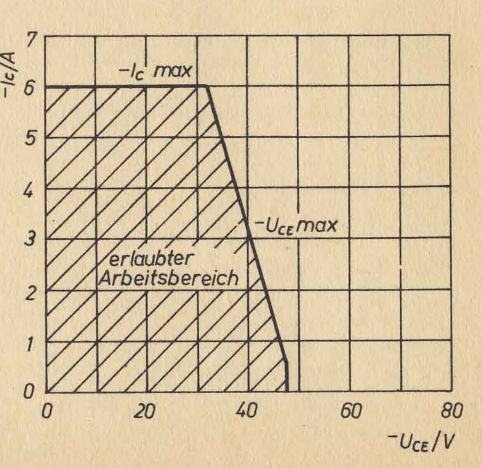


Bild 5
Ausgangsleistung als Funktion der Betriebsspannung

Bild 6
Maximale Kollektorstromamplitude der Endstufentransistoren

Bild 7
Maximale Verlustleistung der Endstufentransistoren

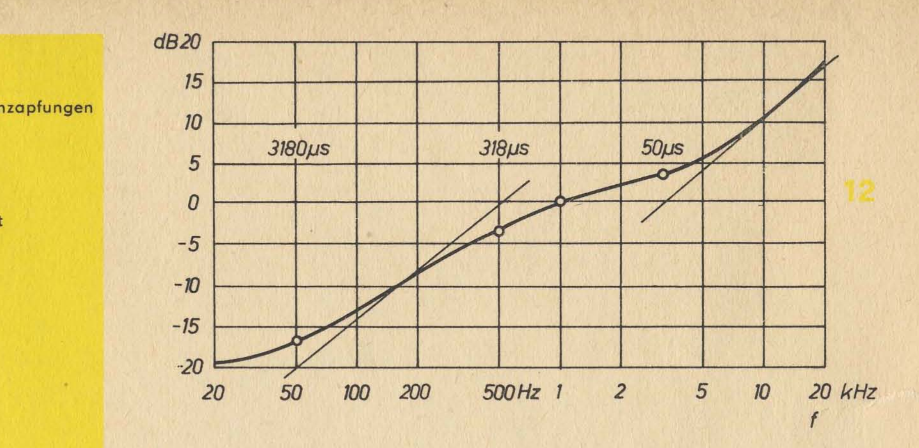
Bild 9
Zusammenhang zwischen Kollektorspannung und -strom für den Transistor ASZ 1016

Tabelle 4

Bauelemente des Steuerverstärkers (vgl. Bild 11)

R101,	R201	120 kΩ	1/8 W
R102,	R202	8,2 kΩ	1/8 W
R103,	R203	5,6 kΩ	1/8 W
R104,	R204	22 kΩ	1/8 W
T105,	R205	1 kΩ	1/8 W
R106,	R206	1 kΩ	1/8 W
R107,	R207	150 kΩ	1/8 W
R108,	R208	8,2 kΩ	1/8 W
R109,	R209	680 kΩ	1/8 W
R110,	R210	27 kΩ	1/8 W
R111,	R211	1,8 kΩ	1/8 W
R112,	R212	22 kΩ	1/8 W
R113,	R213	82 kΩ	1/8 W
R114,	R214	2 × 250 kΩ Tandempotentiometer	
R115,	R215	68 kΩ	1/8 W
R116,	R216	2 × 250 kΩ Tandempotentiometer	
R117,	R217	39 kΩ	1/8 W
R118,	R218	6,8 kΩ	1/8 W
R119,	R219	120 kΩ	1/8 W
R120,	R220	8,2 kΩ	1/8 W
R121,	R221	150 kΩ	1/8 W
R122,	R222	1,8 kΩ	1/8 W
R123,	R223	22 kΩ	1/8 W
R124,	R224	470 Ω	1/8 W
R125,	R225	1,2 kΩ	1/8 W

R126,	R226	2 × 50 kΩ Tandempotentiometer mit Anzapfungen
R127,	R227	2 × 100 kΩ Tandempotentiometer
R128,	R228	470 Ω 1/8 W
C101,	C201	Elyt 5 µF/10 V freitragend
C102,	C202	Elyt 10 µF/10 V freitragend
C103,	C203	1 µF/63 V Lackfilmkondensator oder Elyt
C104,	C204	Elyt 25 µF/10 V freitragend
C105,	C205	3,3 nF, Duroplastkodensator
C106,	C206	1 µF/63 V Lackfilmkondensator
C107,	C207	820 pF Keramikkondensator
C108,	C208	Elyt 25 µF/25 V freitragend
C109,	C209	Elyt 5 µF/25 V freitragend
C110,	C210	470 pF Keramikkondensator
C111,	C211	2,2 nF Duroplastkondensator
C112,	C212	5,6 nF Duroplastkondensator
C113,	C213	22 nF Duroplastkondensator
C114,	C214	Elyt 5 µF 25 V freitragend
C115,	C215	Elyt 25 µF 25 V freitragend
C116,	C216	1 µF 63 V Lackfilmkondensator
C117,	C217	820 pF Keramikkondensator
C118,	C218	1 µF 62 V Lackfilmkondensator oder Elyt
C119,	C219	820 pF Keramikkondensator
C120,	C220	0,1 µF Duroplastkondensator
C121,	C221	Elyt 500 µF 25 V freitragend
T101,	T201	GC 118, GC 101, AC 151 r
T102,	T202	GC 118, GC 101, AC 151 r
T103,	T203	GC 121



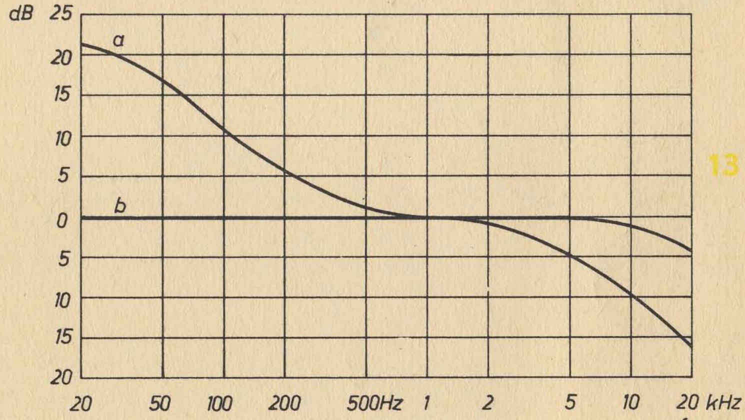


Bild 11
Stromlaufplan des Steuerverstärkers

Bild 12
Schneidfrequenzgang für Schallplattenaufnahmen

Bild 13
Frequenzgang des Entzerrervorverstärkers

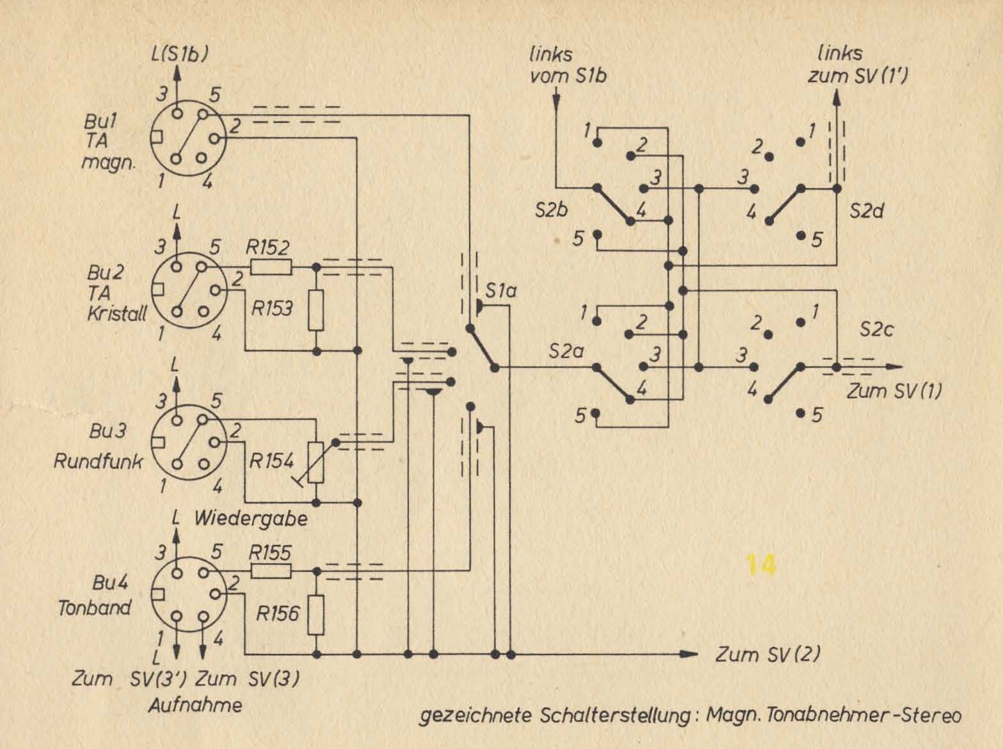
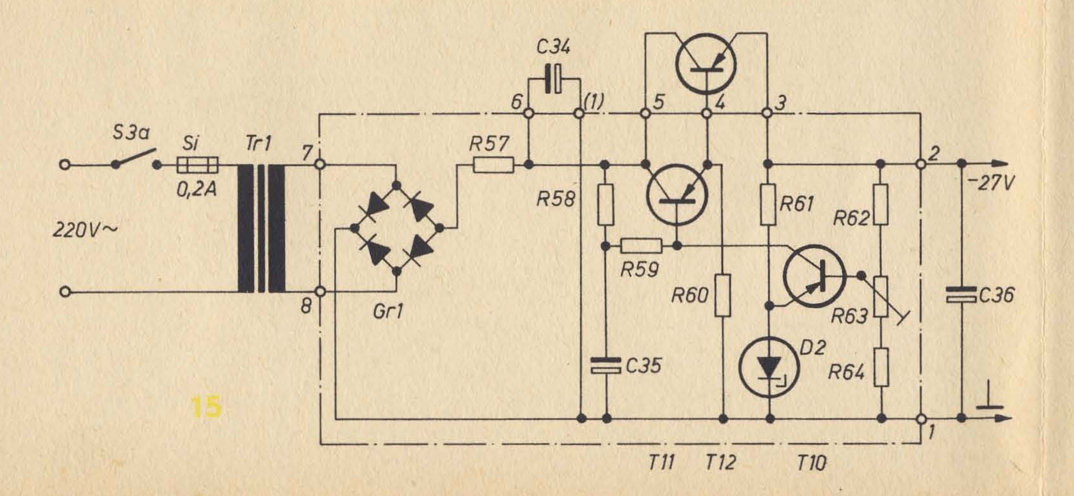


Tabelle 5

Bauelemente des Programmwählers (vgl. Bild 14)

Bu 1···Bu 4		5 pol. Norm-(Dioden-)Buchsen	
R152,	R252	560 kΩ	1/8 W
R153,	R253	18 kΩ	1/8 W
R154,	R254	100 kΩ	Einstellregler Nenngröße 1
R155,	R255	220 kΩ	1/8 W
R156,	R256	3,3 kΩ	1/8 W

S1, S2 Drehschalter mit 2× 6 Schaltkontakten und 2 Ebenen (Febana-Kleinstufenschalter)



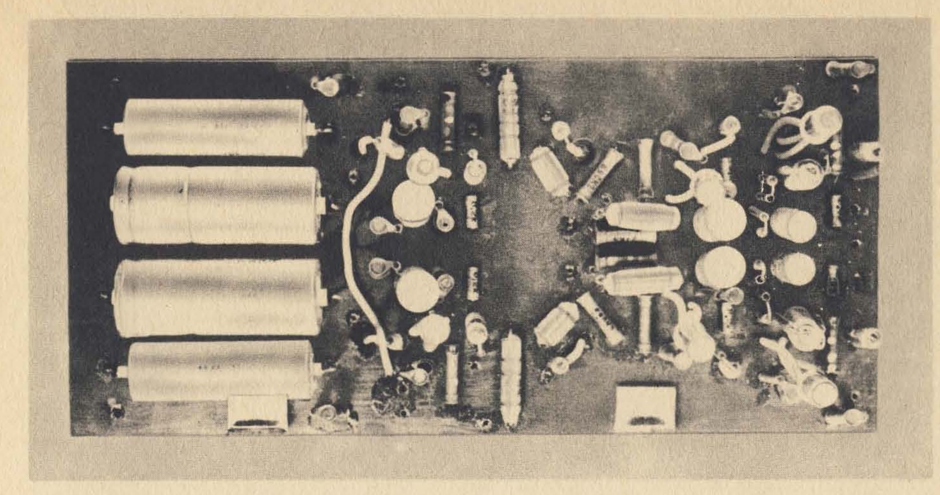


Bild 14
Stromlaufplan des Eingangsteils

Bild 15
Stromlaufplan des Netzteils

Bild 23
Gesamtansicht der Steuerverstärker-Leiterplatte

Tabelle 6

Bauelemente des Netzgeräts (vgl. Bild 15)

R57	1 Ω	2 W, drahtgewickelt
R58	470 Ω	1/8 W
R59	1,5 kΩ	1/8 W
R60	2,7 kΩ	1/8 W
R61	3,9 kΩ	1/8 W
R62	1,2 kΩ	1/8 W
R63	500 Ω Einstellregler für gedruckte Schaltung, Nenngröße 1 „P"	
R64	270 Ω	1/8 W
C34	Elyt 2000 μF/70 V mit Schraubbefestigung	
C35	Elyt 100 μF/70 V freitragend	
C36	Elyt 2000 μF/25 V mit Schraubbefestigung	

T10, GC 122, GC 301, β > 70
T11, GD 170, β > 50
T12, ASZ 1018, AD 149, β > 30
D2, ZA 250/7, SZX 18/6,8
Gr. 1 4 × SY 200
Si Einbau-Sicherungselement
Feinsicherung 0,2 A träge
S3 doppelpoliger Kippschalter
Tr 1
Kerngröße M 85
Dynamo-Blech IV ohne Luftspalt, wechselseitig geschichtet
Grundisolation 2 Lagen Ölleinen 0,1 mm
primär 920 Wdg, 0,4-mm-CuL
Lagenisolation 1 Lage Ölpapier 0,02 mm
Zwischenisolation 2 Lagen Ölleinen 0,1 mm
sekundär 130 Wdg., 1,0-mm-CuL
Lagenisolation 1 Lage Ölpapier 0,02 mm
Deckisolation 2 Lagen Ölleinen 0,1 mm

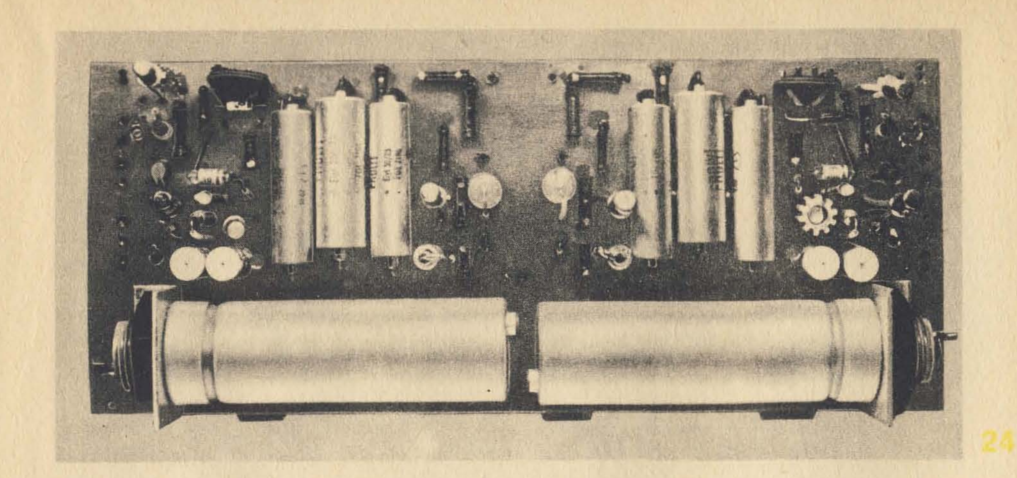
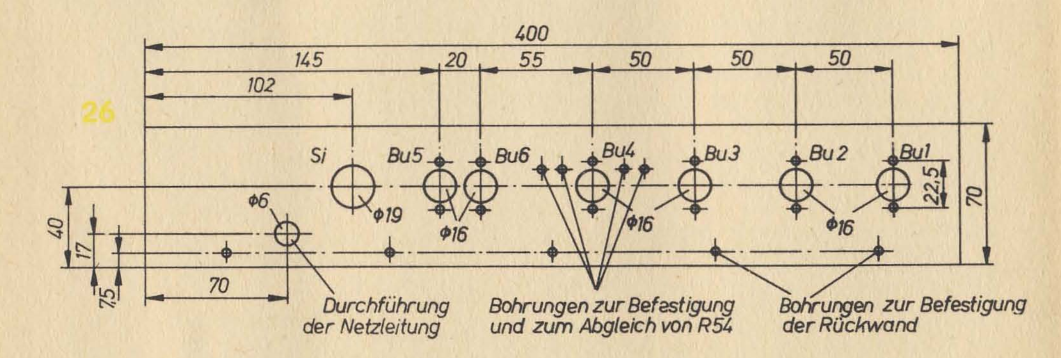
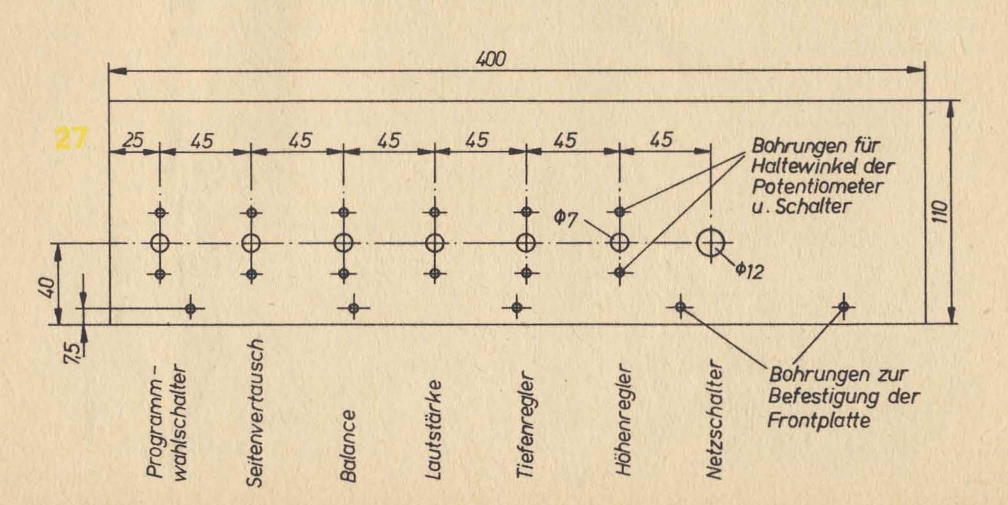


Bild 24
Gesamtansicht
der Endverstärker-Leiterplatte

Bild 26
Rückseite des Chassis

Bild 27
Frontträgerplatte





400
120
90
20
10
30
80
100
Leiterplatte des Endverstärkers
Netztrafo
75
80
165
50
60
60
60
Winkel für C34 u. C36
Kühlplatte für T12
Leiterplatte des Netzgerätes
10
Lage der Endstufentransistoren

a) Ansicht von oben

25

15
M 2,5 Gewinde zur Befestigung der Front-Trägerplatte und der Rückwand

b) Ansicht von vorn bzw. von hinten

Befestigungswinkel mit M3 Gewinde

c) Seitenansicht links

Bild 25
Chassisaufbau

100
Alu 2...3mm
Transistor T12
90
28
60
15
Befestigungsbohrungen ϕ3mm

Alu 1,5mm
ϕ18
80
37,5
27,5
29
25
45
15
Befestigungs-bohrungen ϕ3mm

Bild 28
Kühlblech für den Regeltransistor des Netzgeräts

Bild 29
Blechwinkel für die Elektrolytkondensatoren C34 und C36

Steuerverstärker
10
Tandempotentiometer

a) Seitenansicht

30

Eingang
Steuerverstärker
Ausgang
20
Front-Trägerplatte

b) Ansicht von oben

Bild 30
Bauelementeanordnung an der Frontträgerplatte